

RADIOUHLÍKOVÉ DATOVÁNÍ KOSTERNÍCH POZŮSTATKŮ V BĚŽNÉ SOUDNĚ LÉKAŘSKÉ PRAXI

PETR HANDLOS^{a,b,e}, IVO SVĚTLÍK^c, MARTIN DOBIÁŠ^d, MARGITA SMATANOVÁ^{a,e}, IGOR DVOŘÁČEK^{a,e}, MAREK JOUKAL^b, KLÁRA MARECOVÁ^d a LADISLAVA HORÁČKOVÁ^b

^a Ústav soudního lékařství, Fakultní nemocnice Ostrava, 17. Listopadu 1790, 708 52 Ostrava, ^b Anatomický ústav, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Kamenice 3, 625 00 Brno, ^c Ústav jaderné fyziky v.v.i., Oddělení dozimetrie, AV ČR, Na Truhlářce 39/64, 180 86 Praha 8,

^d Ústav soudního lékařství a medicínského práva, Fakultní nemocnice Olomouc, Hněvotínská 3, 779 00 Olomouc,

^e Katedra intenzivní medicíny a forenzních oborů, Lékařská fakulta, Ostravská univerzita, Syllabova 19, 703 00 Ostrava

lhorac@med.muni.cz

Došlo 18.1.17, přijato 17.3.17.

Klíčová slova: kosterní pozůstatky, doba smrti, 2. světová válka, hromadný hrob, radiouhlíkové datování

Úvod

Běžnou součástí soudně lékařské praxe je provádění pítav zemřelých často v pokročilém stupni hnilobného rozkladu nebo případně ve stavu úplné skeletizace. U kosterních pozůstatků je rozvoj pozdních posmrtných změn ovlivněn řadou faktorů. Zejména se jedná o působení atmosférických vlivů, kvality půdy a hloubky uložení zemřelého. Proces skeletizace je však těmito zevními faktory natolik ovlivněn, že je stanovení přesné doby úmrtí velice obtížné a doposud zůstává ne zcela vyřešenou otázkou. V případě zjištění úrazových změn na skeletu, které nasvědčují pro útok ze strany druhé osoby či osob, je vymezení doby, která uběhla od úmrtí z hlediska trestněprávního zcela nezbytné. V případě vraždy je zánik trestní odpovědnosti v ČR, tzv. promlčecí doba, stanovena na dobu 20 let od úmrtí.

Běžnými antropologickými a forenzními metodami lze stanovit dobu úmrtí pouze v širokém časovém rozpětí. Stejně tak chemické metody založené na zjišťování postupné přeměny struktury kostní tkáně nebo na změně koncentrací některých prvků, ke kterým dochází během uložení kostí v půdě, jsou pro forenzní účely nedostačující. V některých případech lze využít metodu racemizace aminokyselin z jejich L- na D-formu¹. Tato metoda je však značně závislá na řadě faktorů, především pak na teplotě prostředí. Z těchto důvodů jsme použili fyzikálně-

chemickou metodu radiouhlíkového datování², u které lze předpokládat, že napomůže přesnějšímu vymezení stáří kosterních pozůstatků a napomůže Policii České republiky rozhodnout o dalším postupu.

Experimentální část

Antropologické metody

Studované kosterní pozůstatky pocházely z hromadného hrobu odkrytého při stavebních pracích v Moravskoslezském kraji. Kostry nebo jejich části byly uloženy 0,8–1,5 m pod zemským povrchem v hnědé, spíše štěrkovité půdě. Celkem bylo vyšetřeno 538 kostí, četné kostní fragmenty a kostní drť. Při vyzvedávání kosterních pozůstatků nebo jejich částí byla provedena podrobná dokumentace a základní demografické vyhodnocení. Pro stanovení pohlaví na kostech jsme postupovali podle publikací³ na pánevních kostech⁴ a na dlouhých kostech končetin⁵. Pro odhad dožitého věku byly použity aspektivní metody^{6–8}. Odhad výšky postavy byl provedený podle metrického hodnocení kostí končetin dlouhého typu⁹. Pro odhad doby úmrtí byly rovněž vyhodnoceny půdní podmínky nalezeného hrobu, stav dřevných dutin dlouhých kostí končetin, barva kostí a struktura jejich povrchu. Běžnými antropologickými a forenzními metodami nebylo možné stanovit bližší dobu úmrtí, i když doprovodné nálezy nasvědčovaly, že se jedná o kosterní pozůstatky z 2. světové války.

Radionuklidové metody

Do vyšetřovacího algoritmu jsme zařadili chemicko-fyzikální metodu radiouhlíkového datování, od níž jsme očekávali potvrzení výše uvedených předpokladů a přesnější vymezení stáří kosterních pozůstatků. Pro tuto analýzu byla odebrána kostní tkáň jedné z patních kostí, která byla nalezena v hromadném hrobě. Kost byla mechanicky očištěna, rozemleta a vzorek o hmotnosti 50 g byl demineralizován přidávkem 500 ml 2 M HCl po dobu přibližně jedné hodiny. Poté byl nerozpuštěný podíl promýván převařenou destilovanou vodou s přidávkem HCl (pH cca 3). Izolovaný kolagen byl „želatinizován“ v kyselém prostředí za teploty 90 °C a z roztoku byly poté filtrací na skleněném vláknitém filtru odstraněny nerozpuštěné příměsi. Čirý roztok byl následně sušen do konstantní hmotnosti při teplotě 60 °C. Připravený CO₂ byl přečišťován mokrou cestou působením roztoku AgNO₃ a z přečištěného CO₂ byl poté syntetizován benzen cestou přípravy karbidu lithného a katalytické trimerizace, následně byl benzen desorbován z trimerizačního katalyzátoru (na bázi Cr₂O₃)¹⁰. Poté musí být benzen skladován nejméně po dobu jednoho měsíce za účelem odstranění rušivého ²²²Rn a jeho krátkodobých dceřiných radionuklidů. Koncentrace kolagenu ve vzorcích očištěné kosti činila 231 mg g⁻¹. Ze vzorků syntetizovaný benzen byl proměřován na nízkopozadovém kapalínovém scintilačním spektrometru Quantu-

lus 1220 po dobu tří dnů. Jako slepý (fossilní) vzorek byl použit komerčně dostupný benzen (Sigma-Aldrich, spectrofotometric grade). Kalibrace stanovení ^{14}C byla provedena s použitím kyseliny šťavelové NIST (NBS) HOX II SRM 4990-C. Naměřená aktivita ^{14}C byla vyjádřena v letech BP (Before Present)¹¹ jako konvenční radiouhlikové stáří dle Stuiverovy-Polachovy konvence¹². Kombinovaná nejistota konvenčního radiouhlikového stáří zahrnuje dílčí příspěvky dané měřením vzorku, slepého vzorku, kalibrací na vliv zhášení a určením hodnoty $\delta^{13}\text{C}$. Pro normalizaci dle $\delta^{13}\text{C}$ byla použita tabulková hodnota¹². Kombinovaná nejistota uváděná u konvenčního radiouhlikového stáří odpovídá pravděpodobnosti přibližně 95 % (cit.¹³). Pro bližší určení stáří vzorku byl použit revidovaný kalibrační program Calib 7.0.2. s kalibrační křivkou Int-Cal13 a jejím prodloužením do r. 2012 pro severní polokouli^{14–18}. Po přiřazení nejistot daných radiouhlikovou kalibrační křivkou bylo konvenční radiouhlikové stáří a jeho kombinovaná nejistota přepočtena na interval kalibrovaného stáří. Celková míra absolutní pravděpodobnosti P uvedeného intervalu kalibrovaného stáří vycházela z rozšířené kombinované nejistoty stanovení ^{14}C (2s) a byla vypočtena z míry dílčí hlavní relativní pravděpodobnosti stanovené kalibračním programem násobené koeficientem 0,95.

Zpracování vzorku kosti pro radiouhlikové datování s využitím konvenční (radiometrické) metody analýzy trvalo přibližně tři měsíce. Měření se provádělo pro sérii několika vzorků, které byly měřeny spolu se vzorkem slepým a referenčním. V laboratoři CRL (radiouhliková laboratoř provozovaná společně ÚJF AV ČR, v.v.i. a ARÚ Praha AV ČR, v.v.i.) činí cena jedné analýzy vzorku kosti pro radiouhlikové datování s využitím radiometrického měření 4000,- Kč.

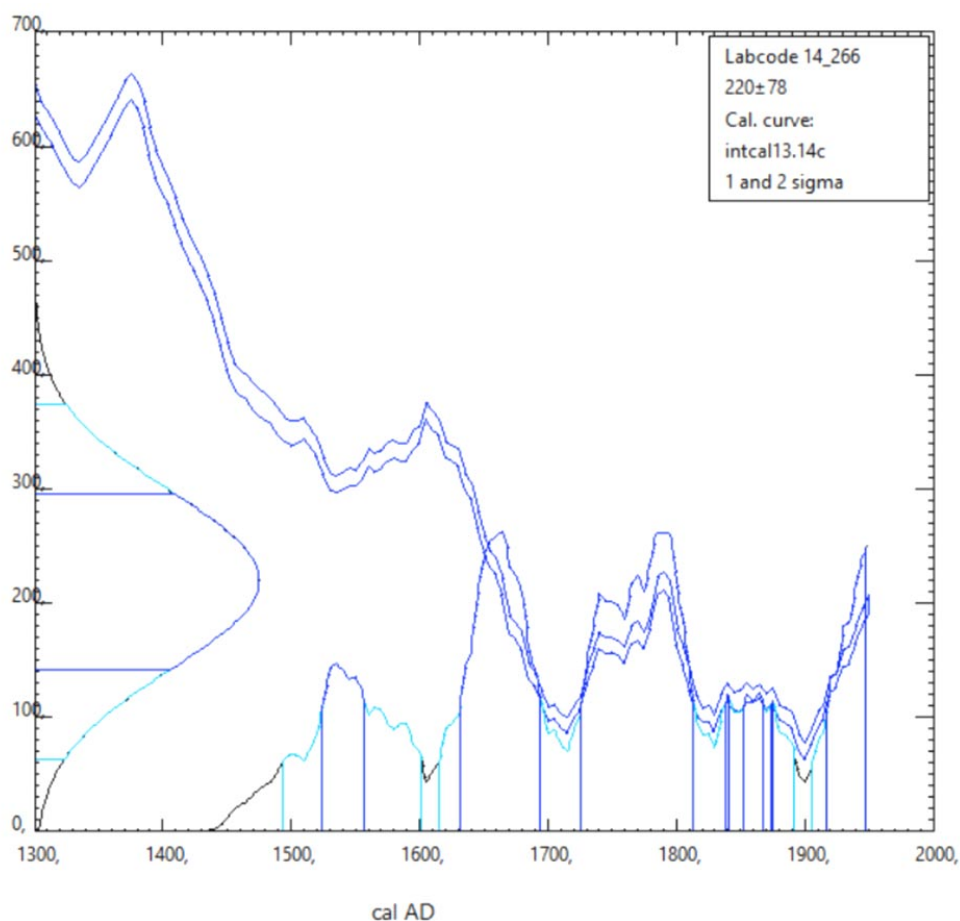
Výsledky a diskuse

V hromadném hrobu byly nalezeny pozůstatky nejméně devíti dospělých jedinců (obr. 1). Všechny kosterní pozůstatky vykazovaly typicky mužské pohlavní znaky. Kostí byly robustní s výrazným svalovým reliéfem. Biologický věk zemřelých jedinců se pohyboval od 18 do 40 let, na některých dlouhých kostech byly ještě patrné stopy po zaniklých či zanikajících růstových chrupavkách a osifikacích lemy. Rozmezí hodnot tělesné výšky se pohybovalo v intervalu 160–182 cm. Na skeletech nebyly zjištěny známky poranění ani patologické stavy, podle kterých bylo možno stanovit bezprostřední příčinu smrti.

Vyšetřované kosti byly lehké, žlutohnědé barvy, dokonale zbaveny měkkých tkání, drsného povrchu s rozšířenými suchými dřevnými dutinami, zbavené tuku. V naší zeměpisné šířce nastává skeletizace přibližně za 10–15 let po úmrtí¹⁹. V dalším období dochází v kostech k postupnému úbytku tukových látek a kolagenu, rozšiřují se dřevné dutiny, povrch se stává nerovným, drsným, při mělkém uložení kosterních pozůstatků může být narušený kořeny rostlin. Mezi kostní tkání a okolní půdou dochází k výměně minerálních látek. Tyto diagenetické změny závisí na chemické reaktivitě kostní tkáně, chemické struktury kosti (velikost krystalů), pH, teplotě, vlhkosti a tlaku. Nejrychleji dochází k rozkladu kostí ve vysoce kyselých půdách z důvodu rozpuštění anorganické složky – hydroxyapatitu²⁰, zatímco v půdách s neutrálním pH bývají kosti dobře zachovány po řadu let²¹. Obvykle se zachovávají kosti končetin se silnou vrstvou kompakty, dolní čelist a bazální části lebky. Drobné kosti skeletu bývají často již rozloženy. Ploché kosti lebky mohou mít neobvykle lomné linie, které jsou způsobeny tlakem okolní zeminy na lebku. Tyto změny mohou vést k mylné interpretaci forenzních závěrů. Aspektivními morfometrickými metodami byla



Obr. 1. Kosterní pozůstatky nejméně 9 dospělých jedinců nalezených v hromadném hrobě, jde o lebky a fragmenty lebečních kostí



Obr. 2. Křivka průběhu hustot pravděpodobnosti spolu s vyznačením intervalů kalibrovaného stáří pro hladinu pravděpodobnosti 95 %

doba smrti stanovena na dobu před 50–100 lety, což bylo nedostatečné pro potřeby Policie České republiky.

Radiouhlíkovým datováním kolagenu izolovaného ze vzorku patní kosti byla stanovena křivka průběhu hustot pravděpodobnosti spolu s vyznačením intervalů kalibrovaného stáří pro hladinu pravděpodobnosti 95 % (obr. 2). Provedenou analýzou byl zjištěn široký časový interval od roku 1493 do 1949, který byl způsobený oscilací uhlíku ^{14}C od konce 15. století až do poloviny 20. století. Poté však došlo k podstatnému nárůstu aktivity ^{14}C v 50. letech a zejména na začátku let 60. minulého století vlivem zkušek jaderných zbraní s maximem v letech 1963 až 1964 (cit. ^{16–18,22,23}). V mnoha případech proto zůstává radiouhlíkové datování jedinou metodou, která umožní stanovit horní hranici stáří kosterních pozůstatků. V námi popsaném případě bylo důležitým zjištěním, že k úmrtí došlo v časovém intervalu 1493–1949. I přes takto široké časové rozpětí napomohlo radionuklidové datování jednoznačně vyloučit, že by se jednalo o kosterní pozůstatky mladší 20 let podléhající trestnímu stíhání. Stejnou problematikou radiouhlíkového datování se zabývalo více autorů.

Z dostupné literatury je zřejmé, že v období let 1650–1950 docházelo k významné oscilaci ^{14}C v přírodě, což znemožňuje přesnější datování. Uvedené závěry dobře korespondují s již publikovanými údaji²⁴.

Pro další upřesnění stáří kosterních pozůstatků lze využít stanovení ^{90}Sr . Převážná část tohoto radionuklidu nacházejícího se na území ČR pochází z testů jaderných zbraní a u některých typů vzorků může potvrdit jejich původ z poválečného období. Jelikož však byl vzorek dlouhodobě deponován v půdě a pravděpodobně přicházel do styku s podzemní vodou, lze předpokládat částečnou dodatečnou kontaminaci ^{90}Sr (cit.²⁵). Z tohoto důvodu jsme doplňkovou analýzu ^{90}Sr nepovažovali pro naše účely za příliš vhodnou.

Podle historických pramenů a rozhovorů s pamětníky bylo prokázáno, že šlo o německé vojáky padlé na konci 2. světové války. Kosterní pozůstatky byly poté předány k pietnímu pohřbení na německém válečném hřbitově v Brně. Z hlediska trestně právního bylo prokázáno překročení promlčecí doby a případ mohl být policií uzavřen.

Závěr

Klasickými antropometrickými a antroposkopickými metodami lze při rozvoji pozdních posmrtných změn u kosterních pozůstatků stanovit dobu smrti pouze přibližně v širším časovém intervalu. Mnohdy se jedná až o desítky let, což je z právního hlediska neakceptovatelné. V těchto případech je pak možno využít metodu radiouhlíkového datování jako jednu z komplementárních vyšetřovacích metod, od které lze očekávat přesnější vymezení časového intervalu stáří pozůstatků. Horní hranice zjištěného intervalu pak rozhodne o dalším postupu vyšetřování. V případech, kdy došlo prokazatelně k uplynutí více než 20 let od úmrtí, je případ Policií ČR odložen a kosterní pozůstatky jsou pak předány k dalšímu studiu specialistům z historické antropologie.

LITERATURA

- Ogino T., Ogino H., Nagy B.: *Forensic Sci. Int.* 29, 259 (1985).
- Longin R.: *Nature* 230, 241 (1971).
- Acsádi G., Nemeskéri J., Balás K.: *History of Human Life Span and Mortality*. Akademiai Kiado, Budapest 1970.
- Bruzek J.: *Am. J. Phys. Anthropol.* 117, 157 (2002).
- Dibennardo R., Taylor J. V.: *Am. J. Phys. Anthropol.* 61, 305 (1983).
- Lovejoy C. O.: *Am. J. Phys. Anthropol.* 68, 47 (1985).
- McKern T. W., Stewart T. D.: Technical Report EP. 45. Quartermaster Research and Development Command, Natick 1957.
- Meindl R. S., Lovejoy C. O., Mensforth R. P., Walker R. A.: *Am. J. Phys. Anthropol.* 68, 29 (1985).
- Breitinger E.: *Anthropol. Anz.* 14, 249 (1937).
- Gupta S. K., Polach H. A.: *Radiocarbon Dating Practices at ANU*. Australian National University, Canberra 1985.
- Schneider R., McNichoal A., Nadeau M.: *Radiocarbon* 37, 693 (1995).
- Stuiver M., Polach H. A.: *Radiocarbon* 19, 355 (1977).
- Currie L. A.: *Pure Appl. Chem.* 67, 1699 (1995).
- Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk R. C., Buck C. E., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Ron W. R., David A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J.: *Radiocarbon* 55, 1869 (2013).
- Stuiver M., Reimer J.: *Radiocarbon* 35, 215 (1993).
- Levin I., Kromer B.: *Radiocarbon* 46, 1261 (2004).
- Levin I., Kromer B., Hammer S.: *Tellus Ser. B.* 2013, 65.
- Wild E. M., Arlamovsky K. A., Golser R., Kutschera W., Priller A., Puchegger S., Rom W., Steier P., Vucudilik W.: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* 172, 944 (2000).
- Meadows L., Mann R. W., Bass W. M.: *J. Forensic Sci.* 3, 103 (1990).
- Nafté M.: *Reconstructing Identity*. Carolina Academic Press, Carolina 2000.
- Sorg M. H., Haglund W. D.: *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. CRC Press, Boca Raton 1996.
- Ubelaker D. H.: *J. Forensic Sci.* 59, 1466 (2014).
- Calcagnile L., Quarta G., Cattaneo C., D'Elia M.: *Radiocarbon* 55, 1845 (2013).
- Cook G., Ainscough L., Dunbar E.: *Radiocarbon* 57, 327 (2015).
- Stamoulis K., Assimakopoulos P., Ioannides K., Johnson E., Soucacos P. N.: *Sci. Total Environ.* 229, 165 (1999).

P. Handlos^{a,b,e}, I. Světlík^c, M. Dobiáš^d, M. Smatanová^{a,e}, I. Dvořáček^{a,e}, M. Joukal^b, K. Marecová^d, and L. Horáčková^b (^a *Forensic Medicine, University Hospital Ostrava, Ostrava*, ^b *Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Masaryk University, Brno*, ^c *Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague*, ^d *Department of Forensic Medicine and Medical Law, Faculty Hospital Olomouc, Olomouc*, ^e *Department of Intensive Medicine and Forensic Studies, University of Ostrava, Ostrava*): **Dating of Skeletal Remains by Radiocarbon Method in a Common Part of Forensic Medical Practice**

The article below presents a case of skeletal remains found in 2014 in the Czech Republic. The most important tasks during the examination were to determine not only the cause of death, but also how old the remains were. For the purposes of the analysis, anthropometric and morphometric methods were used. These methods did not enable us to determine the exact time of death, though the accompanying findings suggested that the remains came probably from World War II. To determine it, radiocarbon dating was also applied, which helped us to exclude clearly any possibility that the skeletal remains might be younger than 20 years and thus be subject to a criminal investigation.