

## O kostech, ženách a zemědělství

Víte, kterou rukou škrtnete zápalku nebo ovládáte myš u počítače? Denně volíme, kterou horní končetinu zapojíme při manipulaci s předměty. Jednu používáme častěji a ta je označována jako dominantní. Člověk se navíc vyznačuje vysokou stranovou asymetrií v preferenci horní končetiny, u většiny populace vychýlenou k pravé dominantní končetině. Bilaterální asymetrie se neprojevuje jen v manipulaci s předměty, ale stranová preference při výběru končetiny se dokáže zapsat i do kosterní struktury. Protože častěji využíváme pravou končetinu, sledujeme u člověka také silnější pažní kost na pravé straně. Nemusí to ale platit vždy a zkoumáním změn v preferenci pravé a levé horní končetiny nás může přivést k poznatkům o klíčových změnách v obživě našich předků. Tak tomu bylo i při výzkumu přechodu k zemědělství a jeho důsledkům pro biologický vývoj našeho druhu.

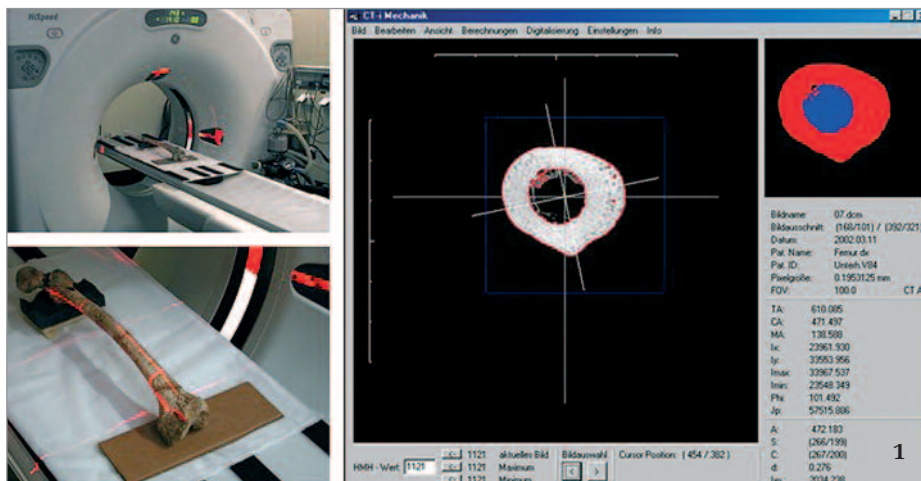
### V čem jsou ženy zvláštní?

Poprvé jsme si všimli, že u raných zemědělců je stranová asymetrie horní končetiny nezvyklá, už v r. 2006. Tehdy jsme srovnávali rozložení hutné kostní tkáně na příčných průřezích u pažních kostí náleží z eneolitu a doby bronzové a ověřovali vliv zemědělství na změny v robustnosti horní končetiny. Překvapilo nás, že u souboru žen je medián (speciální odhad střední hodnoty) robustnosti pravé a levé pažní kosti rovný nule, což znamená, že pažní kost je stejně silná na pravé i levé straně. U žen eneolitu a doby bronzové se zdálo, že neplatí dosavadní poznatky o silnějších kostech na pravé straně, naopak, že v tomto období nebývala četnost levoruké manipulace.

Symetričnost robustnosti horních končetin u žen eneolitu a doby bronzové musí nějak souviset se zátěží vyvolanou svalovou aktivitou během manipulace s předměty. Rozložení hutné kostní tkáně na příčném řezu pažní kosti se totiž odvíjí od velikosti a směru zátěže. Pokud se tedy robustnost shoduje mezi pravou a levou

stranou, znamená to, že obě končetiny byly zatěžovány přibližně stejně. To ale neodpovídá většímu počtu praváků v lidských populacích. Silnější pravé pažní kosti byly potvrzeny i v evoluci, výrazná pravostranná asymetrie robustnosti pažní kosti dosáhla v mediánu např. u neandertálců až 57 %, podobně u zástupců časného svrchního paleolitu až 40 %. U žen eneolitu a doby bronzové proto vše nasvědčovalo, že symetricky rozložená robustnost mezi pravou a levou pažní kostí je cosi mimořádného, nějakým způsobem souvisejícího s jejich aktivitou.

**1** Biomechanická analýza příčných průřezů dlouhých kostí pomocí výpočetní tomografie. Snímání průřezů u dlouhé kosti (vlevo nahoře), orientace kosti v tomografu (vlevo dole), softwarová aplikace pro výpočet biomechanických proměnných z příčného průřezu (vpravo). Červenou barvou je zvýrazněno rozložení hutné kostní tkáně na příčném průřezu. Hutná kostní tkáň je oproti lešenářské trubce rozložena nepravidelně, což nasvědčuje, že zátěž vyvolávala napětí v kosti s převahou v určitých směrech. Získané biomechanické parametry pak můžeme použít pro rekonstrukci, jak byla kost zapojena při pohybu.



ního paleolitu až 40 %. U žen eneolitu a doby bronzové proto vše nasvědčovalo, že symetricky rozložená robustnost mezi pravou a levou pažní kostí je cosi mimořádného, nějakým způsobem souvisejícího s jejich aktivitou.

### Kost a trubka

I když se to nezdá, kost představuje výrazně plastický a dynamický orgán, který se aktivně přizpůsobuje změnám vyvolaným fyzickou aktivitou jedince. Plasticita kostní tkáně je zapsána v histologické stavbě a je zajištěna „stavební četou“, tedy aktivitou několika typů kostních buněk – osteoblastů a osteocytů na straně výstavby nové kostní tkáně a osteoklastů na straně osteolytického odbourávání staré tkáně. Tyto buňky dokáží nejen modelovat novou kostní tkáň, ale podílejí se na remodelaci stávající tkáně, což umožňuje připravit strukturu kosti na některé typy změn vnějšího prostředí. Kostní buňky jsou neaktivnější během růstu a vývoje, ale jejich činnost pokračuje i později (viz také články Z. Šmahela o růstu a změnách tvaru kostí v Živě 1998, 5: 230–232 a 6: 278–280) – úplná remodelace kostní jednotky probíhá i u dospělého jedince, a to v řádech měsíců. U zdravého člověka je remodelace v rovnováze mezi stavbou a odbouráváním kostní tkáně.

Nejdůležitějším vnějším stimulem pro remodelaci a remodelaci kostní tkáně jsou mechanické podněty vzniklé svalovou aktivitou a velikostí těla. Zjednodušeně lze říct, že s nárůstem zátěže se zvyšuje pravděpodobnost, že kost přestane plnit svou funkci a dojde ke zlomenině. Poruše kosti se organismus aktivně brání. Kostní buňky přitom nemohou ovlivnit vnější prostředí, a proto se snaží co nejvíce snížit napětí, které vznikne v kostní struktuře díky vnější zátěži. Snížení napětí je ve skutečnosti biologickou odpovědí na měnící se mechanické nároky kosti nejen u člověka, ale u všech organismů, u kterých nacházíme kostní tkáň. Jedním z klíčových mechanismů, jak snížit napětí, je snaha kostních buněk stavět tkáň v ose se vznikajícím nejvyšším napětím (podobně jako třeba u nosníku v profilu „I“).

Vztah mezi vnější zátěží a vnitřním napětím není ale přímočarý. Biologové zjistili, že život kostních buněk se neobejde bez mechanické zátěže. Pokud se zátěž sníží pod určitou mez, pak nejsou osteocyty mechanicky stimulované a zastaví udržování kostní tkáně. Podprahové napětí aktivuje resorpční mechanismy, které postupně odbourávají kostní tkáň. V krajní situaci může nízké napětí vést až k osteoporóze a zásadním poruchám mechanické odolnosti kosti. Naopak, se zvyšujícím se napětím reagují osteocyty zpočátku sice pomalu – „líně“ (odtud i název pro tuto oblast napětí – lazy zone), ale dostatečně aktivně, aby udržely mechanicky odolnou kostní tkáň. Pokud narůstající napětí překročí další mez, pak se také zvýší aktivita kostních buněk, které se snaží zvýšit pevnost kosti nárůstem kostní hmoty v závislosti na velikosti a směru zátěže. Indukované napětí však může dosáhnout až k hodnotám odpovídajícím patologické zátěži, při níž kostní buňky zpočátku reagují opravnými mechanismy. Poslední

opravný mechanismus spočívá v rychlém přidání vláknité (nezralé) kostní tkáně, která upravuje poškozené oblasti. Pokud se ani poté napětí nesníží, dojde ke zlomení kosti.

Dynamiku odpovědi kostní tkáně na vzniklou mechanickou zátěž pozorovali biologové od makroskopické až po buněčnou úroveň kosterního systému. Nejpřístupnější záznam o mechanickém prostředí je zapsán na příčném průřezu těla dlouhé kosti, a to ve způsobu rozložení hutné kostní tkáně (obr. 1). Tělo dlouhé kosti připomíná na příčném průřezu lešenářskou trubku, protože kost má také plášť zvnějšku ohraničený okosticí (periostem) a uvnitř dutinu ohraničenou endostem. Již v 70. letech proběhly první výzkumy, jak podobnost kosti s nosníky využít v biomechanických analýzách. Ukázalo se, že antropolog může příčný průřez dlouhé kosti analyzovat stejně, jako statik zjišťuje pevnost traverzy, s tím rozdílem, že antropolog pracuje v biomechanické analýze s výsledkem živé tkáně, tedy aktivního děje. Rozložení hutné kostní tkáně proto pomáhá rekonstruovat typ fyzické aktivity i z populace, z nichž máme dochovány jen kosterní pozůstatky. Využitelnost biomechanické analýzy příčných průřezů dlouhých kostí se navíc prohloubila v posledních letech s nástupem výpočetní tomografie, která usnadnila sejmutí periosteálního a endosteálního obrysu hutné kostní tkáně, aniž by musela být kost rozříznuta.

### Spravedlivý po pravici?

Biomechanická analýza nám také otevřela okno do minulého života v eneolitu a době bronzové. Zjistili jsme např., že se tato dvě období nelišila ve způsobu obživy lidské populace. Vyvrátili jsme jednu z hypotéz, že se obživa v eneolitu zakládala na pasteveckém způsobu života, a proto se nezachovaly pozůstatky obydlí. Naopak bylo zřejmé, že obě období jsou charakteristická podobným usedlým zemědělským způsobem obživy, který také ovlivňoval vzhled člověka. Interpretovat symetrii robustnosti pažní kosti u žen eneolitu bylo ale těžší. Odečíst jsme mohli jediné, že ženy tohoto období zatěžovaly horní končetiny se stejnou intenzitou na pravé a levé straně. Nesouhlasilo ale, že by symetrie pažních kostí byla způsobená častějším používáním levé ruky.

Vyšší podíl levoruké manipulace v eneolitu a době bronzové odporoval dosavadním poznatkům o převaze pravorukosti v populacích člověka a o společenském vnímání leváků. Levorucí jedinci jsou ve všech populacích světa v menšině. U jemné motoriky byla levorukost potvrzena mezi 1 až 11 %, u ostatních motorických aktivit mezi 4 až 28 %. Bylo prokázáno, že četnost levorukých jedinců se mění mezi geografickými oblastmi, ale nikde nedosahovali shodného zastoupení jako pravorucí. Dále se zjistilo, že levorukost se častěji objevuje u mužů než u žen, což opět nesouhlasí se zjištěnou asymetrií v eneolitu a době bronzové. Z dosavadních poznatků tedy plyne, že rovnoměrné zastoupení pravorukých a levorukých jedinců v eneolitu a době bronzové by bylo cosi výjimečného, a to přesto, že metody odhadu stranové preference nám dávají částečně rozdílné hodnoty.

Stranová preference horní končetiny není jen biologickým odrazem laterality hemisfér, ale má i společenské dopady. Levorukost některé výzkumy spojují s určitou výjimečností, jako jsou třeba lepší výsledky v inteligenčních testech. Společenské vnímání levorukosti podtrhuje například skutečnost, že mezi posledními 7 prezidenty Spojených států amerických byli čtyři levorucí, včetně prezidenta Baracka Obamy. Levorukost bývá ale ve společnosti častěji vnímána negativně. Ještě nedávno byla spojována s abnormalitou ve fungování mozkových hemisfér, dále s mentální deficiencí, dyslexií, s poruchou v řeči a emoční nestabilitou. Už samotnou přítomnost levorukosti lékaři diagnostikovali jako poruchu, kterou je nutné normalizovat například přeucením jedince ve školním období na pravoruké psaní. Snaha „normalizovat“ levoruké se může promítat do zjištění některých zahraničních studií, že se větší podíl levorukých jedinců vyskytuje ve veřejných základních školách než školách církevních nebo privátních.

Negativní vnímání levorukých existovalo i v minulých společnostech. Potvrzují to pasáže biblických textů, kde je pravá ruka vnímána jako spravedlivá („tvá pravice je plná spravedlnosti“, Žalm 48: 10) nebo spásná („vztáhneš ruku proti hněvu mých nepřátel a tvá pravice mne spasí“, Žalm 138: 7), pomáhá oddělit spravedlivé od hříšných („Tehdy řekne král těm po pravici: Pojďte požehnaní mého otce, ujměte se království, které je vám připraveno od založení světa...“, Matouš, 25: 34; a dále „Potom řekne těm po levici: Jděte ode mne, prokletí, do věčného ohně, připraveného ďábla a jeho andělům!“, Matouš, 25: 41). Biblické texty také potvrzují, že i ve starověku se v populaci vyskytovalo leváků proporcčně méně, jak můžeme zjistit například z údajů o armádě Benjámínovců, kde bylo přibližně 2,7 % levorukých bojovníků ovládnutých praky (Kniha soudců, 20: 15–16).

### Zemědělství zanechává stopy

V r. 2006 jsme měli další pochybnosti ohledně neobvyklého výsledku. Použitý soubor z eneolitu a doby bronzové byl malý a zvláštní rozdělení robustnosti mezi pravou a levou pažní kost mohlo být způsobeno náhodou. Biomechanická analýza průřezů dlouhých kostí je náročná na zachovalost a počet jedinců pro ucelené srovnání bývá nízký. Výsledek jsme proto odložili jako nedořešený a několik dalších let jsme se věnovali jiným tématům.

K ženám eneolitu a doby bronzové a jejich zvláštní symetrii nás vrátila až příprava na kongres Americké asociace fyzických antropologů v Portlandu v r. 2012. Tehdy jsme spolu s velkým mezinárodním týmem vedeným Christopherem Ruffem z Johns Hopkins University School of Medicine v Baltimoru finalizovali první výsledky dlouhodobého výzkumu vývoje tělesných parametrů holocenních populací Evropy. Cílem bylo porovnat také robustnost pažních kostí a zjistit, jestli přechod od lovecko-sběračské obživy k zemědělství nezanechal stopy i na horní končetině. Už první graf ukázal zpět k původnímu výzkumu (obr. 2). Konečně jsme po 6 letech shromažďování dat ze všech možných koutů Evropy zázornili vývoj asymetrie

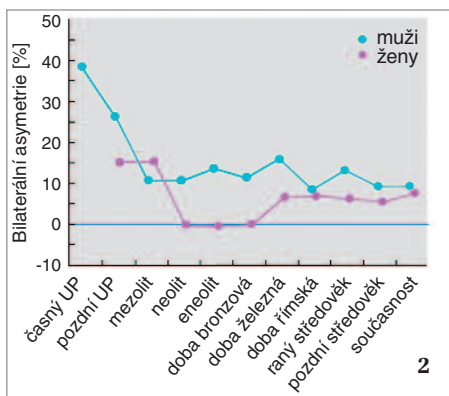
robustnosti pažní kosti od konce pleistocénu až do současnosti. V prvním zobrazení výsledků jsme sledovali něco známého. Medián asymetrie robustnosti pažních kostí žen eneolitu a doby bronzové se opět usadil u nuly, což znamenalo, že ženy průměrně zapojovaly v tomto období horní končetiny symetricky. Tentokrát ale nemohlo jít o chybu v souboru, protože jsme analyzovali údaje od mnohonásobně většího počtu jedinců. Symetrii robustnosti pažních kostí jsme navíc zjistili ještě u žen eneolitu. Zajímavé bylo, že pokles bilaterální asymetrie v robustnosti pažní kosti se týkal vedle střední Evropy i ostatních oblastí kontinentu. To už nemohla být náhoda. Nabízelo se jediné vysvětlení, že rané zemědělství a zátěž symetricky rozdělená mezi pravou a levou horní končetinu mají nějakou souvislost.

Výsledky zřetelně ukázaly, že do interpretace symetrických horních končetin u žen na počátku zemědělství bude nutné zahrnout všechny způsoby, jak mohly ženy končetiny používat. Manipulace dominantní a nedominantní končetiny totiž neznamená, že ve všech úkonech je ta dominantní skutečně upřednostněna a dosáhne větší mechanické zátěže a výsledně i robustnosti. První možnost zapojení dominantní končetiny nám nejlépe ilustrují tenisté. Ti při úderu potřebují vyvinout nejen značnou sílu, ale i přesnost. Dominantní končetina je u nich proto spojena s koordinací motoriky a síly. V důsledku toho mají tenisté dominantní končetinu silnější, a to k hodnotám pozorovaným u neandertálců nebo lovců-sběračů. Druhou možností je zapojit končetiny odděleně a odlišit koordinaci motoriky a síly. I tento způsob vyvolá asymetrii v robustnosti kostní tkáně. Dominantní končetina je totiž nejčastěji preferovaná v jemné koordinaci, zatímco nedominantní odvádí hrubou práci. Asymetrie v síle kostí se tak posouvá více k nedominantní končetině. Existuje ale i třetí možnost? Jaká činnost by mohla vést k symetrii? Hledáme takovou činnost, ve které jsou obě strany zapojeny stejně, musí být fyzicky a časově náročná a minimálně při ní využíváme rozdělení mezi koordinaci a sílu.

Ve světle tohoto zjištění začala dávat symetrie paží žen z počátku zemědělství najednou smysl. Pro toto období je přece charakteristická příprava mouka drcením zrna v konstrukčně jednoduchých zařízení – zrnotěrkách (obr. 4). U zrnotěrky se obilky drtí pohybem horního kamene, který se drží oběma rukama, a na obě horní končetiny je tak vyvíjena rovnoměrná zátěž při rytmickém předozadním pohybu. Rytmické opakování pohybu horního kamene zajistí zatížení obou horních končetin stejnou silou a frekvencí. Výsledkem by mělo být symetrické rozložení hutné kostní tkáně u pravé a levé horní končetiny.

Vliv zemědělství na asymetrii robustnosti pažní kosti se potvrzoval i v jiných obdobích pravěku. V našem souboru žen jsme sledovali, že medián bilaterální asymetrie robustnosti jejich pažních kostí se opět zvýšil v době železné na hodnoty obvyklé u ostatních holocenních populací (obr. 2). To nasvědčuje, že mezi dobou bronzovou a dobou železnou proběhla další výrazná změna v systému obživy,





**2** Medián (speciální odhad střední hodnoty) bilaterální asymetrie robustnosti pažní kosti u populací pleistocénu a holocénu. Bilaterální asymetrie je počítána jako rozdíl mezi pravou a levou pažní kostí, kladná hodnota označuje asymetrii vychýlenou k pravé straně a záporná k levé straně. Mediány blízko nule znamenají symetrické rozložení robustnosti mezi pravou a levou stranu. UP – svrchní paleolit (Upper Paleolithic). Orig. V. Sládek

**3** Replika rotačního mlýnku z doby železné

**4 a 5** Neolitická zrnotěrka (obr. 4) a její využití (5). Snímky V. Sládka

kteřá opět zanechala stopy na kostech našich předků. Z archeologických nálezů víme, že se v době železné objevily první rotační mlýnky (obr. 3), které zefektivnily zpracování obilí, ale zároveň mohly změnit zátěž na horní končetiny. Rotační mlýnek sestává z pohyblivého horního a pevného spodního kamene. S pohyblivým kamenem se rotuje, a to většinou pomocí zapuštěného držadla. Horní kámen lze ovládat jen jednou rukou, a proto by se opět mohla projevit stranová preference dominantní končetiny. Způsob mletí mouky by tak mohl představovat to nejlepší vysvětlení zvláštního rozložení bilaterální asymetrie robustnosti u pažních kostí žen v pravěku. Zbývalo ověřit, že zrnotěrka a rotační mlýnek vytvářejí skutečně takto specifickou podobu zátěže.

### Začali jsme mlít

V laboratoři jsme začali mlít. Chtěli jsme zjistit, zda drčení obilí na zrnotěrce (viz obr. 5) a mletí na rotačním mlýnku dokáže vyvolat symetrické nebo asymetrické zapojení svalů horních končetin. Použili jsme zrnotěrku z neolitických sbírek, u níž nebyly známy žádné jiné informace než to, že pochází pravděpodobně z neolitu. Rotační mlýnek nám podle laténského vzoru pomohl vyrobit kameník Jiří Fiedler. Původní rotační mlýnky mají třecí plochy natolik poškozené, že s nimi již nelze

obilí umlít. Na mletí jsme použili pšenici dvouzrnku (*Triticum dicoccum*) odrůdy 'Emmer', která nejvíce odpovídá druhu pěstovanému v raném zemědělství.

Chvilí trvalo, než jsme si osvojili způsob mletí. Vůbec to není tak jednoduché, jak by se zdálo. Práce se zrnotěrkou je vysoce namáhavá, drčení obilí trvalo dlouho a zpočátku jsme měli víc mouky po zemi a na oblečení než na kameni. U rotačního mlýnku byla práce sice jednodušší, ale mletí nabízelo více možností. Držadlo šlo ovládat dominantní nebo nedominantní končetinou, otáčet kámen bylo ale možné i oběma rukama, případně se ruce mohly v rotačním cyklu vyměnit. Nakonec jsme rozdělili experiment na dvě fáze – na zjištění efektivity mletí a na analýzu míry asymetrie svalové aktivity.

V prvním experimentu jsme zjišťovali, jak rychle a s jakou kvalitou výsledku lze na zrnotěrce a rotačním mlýnku semlít 200 g pšenice dvouzrnky. První pokus potvrdil předešlé závěry, že rotační mlýnek je mnohonásobně efektivnější než zrnotěrka. Na rotačním mlýnku jsme byli schopni pomlít 200 g mouky v průměru přibližně za čtyři minuty. U zrnotěrky trvalo mletí stej-



ného množství obilí celých 17 minut. Tyto výsledky naznačují, že v počátcích zemědělství zabrala příprava jídla poměrně hodně času. Vezmeme-li v úvahu, že neolitická rodina čítala zhruba 7 osob, pak příprava mouky pro denní spotřebu trvala asi 5,5 hodiny čistého času. Tak velkou časovou dotací na jednu činnost jsme vůbec nečekali, byť etnologická pozorování potvrzovala, že mletí na zrnotěrce je časově mimořádně náročné. Naopak mletí obilí na rotačním mlýnku v přepočtu na členy pravěké domácnosti trvalo denně průměrně pouze 1,3 hodiny čistého času. I tento odhad potvrzovaly předchozí experimentální a etnologické údaje. Indukovaně zátěž zrnotěrky tudíž trvala oproti rotačnímu mlýnku podstatně déle, což byl náš předpoklad, aby se mohlo symetrické zapojení končetin při mletí na zrnotěrce projevit i v robustnosti pažní kosti.

Etnologové a archeologové podpořili také náš další předpoklad – mletí obilí patřilo ve zkoumaných společnostech mezi činnosti převážně zajišťované ženami. Ženy jsou při mletí zachyceny na různých nástěnných malbách, dokonce máme záznamy, jak si osvojovaly mletí na zrnotěrkách mladé dívky. I v našich experimentech jsme zjistili, že mletí na zrnotěrce vyžaduje dovednost, která není přirozeně daná. Ukázalo se např., že mezi účastnicemi našeho pokusu vykazuje mletí na zrnotěrce výraznější variabilitu než mletí na rotačním mlýnku. U společností, kde se přirozeně mele obilí na zrnotěrce, se proto zapojují dívky v období puberty, kdy mají už dostatek fyzické síly zvládnout drčení obilí, ale nepřebírají plnou odpovědnost za mletí. Ta stále náleží starší ženě do té doby, než se mladá dívka zaučí.

### Zapojujeme svaly

Pro druhou část našeho experimentování jsme zvolili přímou analýzu svalové aktivity pomocí elektromyografie (EMG). Metoda EMG je založena na analýze signálů vznikajících na membránách svalových vláken. V našem případě jsme neměřili signály na odpověď vnější stimulace, ale na odpověď neuromuskulární aktivity dané pohybem a funkcí svalů. Díky EMG jsme se mohli podívat přímo do svalu a měřit úroveň aktivity svalů a síly vykonané za jednotku času (obr. 6). Pro kosterního antropologa je však takový výzkum nezvyklý. Nemá před sebou jen strukturu kosti, která je mrtvá a o minutosti zachovává pouze stopy, ale dynamický systém, v němž se propojuje sval a mechanická senzitivita kosti. Analýza EMG se často uplatňuje např. ve sportovní medicíně, ale v bioarcheologii bývá zatím použita výjimečně. Museli jsme proto celý experimentální protokol testovat od začátku, krok za krokem.

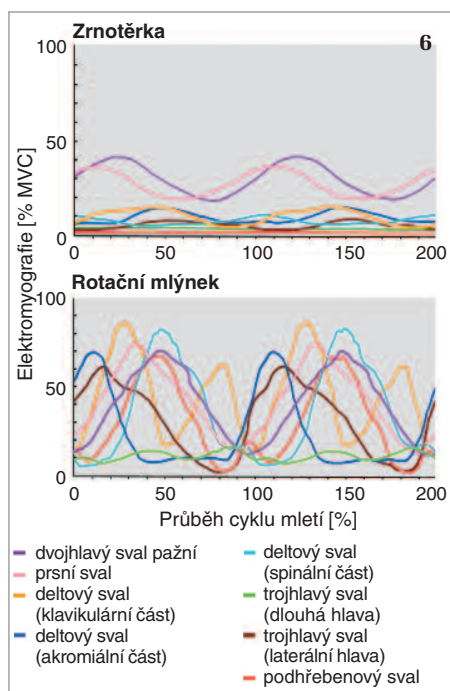
V pilotním průzkumu jsme analyzovali EMG signály u většiny svalů paže a trupu. Pro náš výzkum ale stačilo se zaměřit na čtyři svaly horní končetiny a trupu, protože ostatní se sice podílejí při mletí mouky, ale buď s nízkou intenzitou, nebo je lze modelovat jedním z vybraných svalů. Jakmile jsme otestovali základní parametry svalové aktivity, mohli jsme přistoupit k dotazení celého experimentu. Senzory jsme tentokrát cíleně zaměřili na vybrané svaly a zároveň jsme je umístili na pravou

a levou stranu. Tím jsme získali stranové zapojení svalů z pravé a levé končetiny. Konečně jsme tedy mohli dostat odpověď na otázku, kterou jsme si kladli s přestávkami posledních 10 let.

Výsledky analýzy aktivity svalů nás svou průkazností překvapily. Nebylo pochyb, že jsme na správné stopě. U všech zkoumaných svalů se mletí na zrnотёрce projevilo symetrickou zátěží. Naopak svaly při mletí na rotačním mlýnku se zapojovaly asymetricky s různou mírou intenzity a s různou převahou pravé a levé strany. U rotačního mlýnku se nejvíce projevilo způsob zapojení končetin v rotaci, ale žádný ze způsobů rotace neznamenal přímou symetrickou svalovou aktivitu. Důležité bylo ale zjištění, že mletí na zrnотёрce znamená svalově velice jednotvárnou činnost, při které se maximálně zapojí v podstatě jen trojhlavý sval pažní. Naopak u rotačního mlýnku mletí záviselo na činnosti většího počtu svalů, které se zapojovaly různě, v závislosti na způsobu rotace horního kamene.

### Co s volným časem?

Analýzou aktivity svalů jsme potvrdili, že za symetrickým rozložením robustnosti pažní kosti žen prvňáků zemědělců by mohl být způsob mletí obilí. I toto zjištění nasvědčuje, jak významný dopad měla změna obživy s přechodem k zemědělství na vývoj lidské společnosti. Zajímavé je, že



se na pažních kostech projevila také intenzifikace zemědělství. Nízká efektivita drčení obilí na zrnотёрce znamenala pro ženy nejen, že trávily při mletí více času než ženy v době železné, ale také je příprava denního množství mouky stála více fyzických

6 Parametry analyzované pomocí elektromyografie (EMG) při výzkumu zapojení svalů během mletí na zrnотёрce (A) a rotačního mlýnku (B, při otáčení ve směru hodinových ručiček). MVC (Maximum Voluntary Contraction) – způsob standardizace maximální aktivity svalů pro srovnání mezi účastnicemi pokusu. Na grafech vidíme, že svaly se zapojují u zrnотёрky specializovaně jen u dvou svalů, kdežto zapojení svalů u rotačního mlýnku je variabilnější s větším výsledným počtem zapojených svalů. Orig. M. Hora

sil. Čas je ale možná to nejdůležitější, co zemědělský způsob obživy ovlivnilo. Příprava mouky na zrnотёрce zaměstnávala totiž ženu na podstatnou část jejího aktivního dne. Přechod k rotačnímu mlýnku naopak ženu uvolnil z jedné stereotypní činnosti, aby se mohla věnovat i jiným aktivitám. Možná právě přesun od zrnотёрky k jiným činnostem představoval okamžik, kdy se mohla opět plně projevit vrozená asymetrie s dominancí na pravé straně. Naštěstí nám zanechala v obou případech svou stopu.

*Příprava textu byla podpořena projektem Grantové agentury České republiky (GA ČR 14-22823S) a Grantové agentury Univerzity Karlovy (GA UK 1506314).*

Použitá literatura uvedena na webu Živa.

Jana Velemínská, Ján Dupej

## Virtuální antropologie a její přínos v oblasti biomedicínských a forenzních věd

Metodologie výzkumu biologické antropologie se během posledního století zaměřuje na hledání stále účinnějších nástrojů pro získávání nových informací v oblasti evoluce a variability člověka, ale také v praktičtěji zaměřených oborech, jako jsou biomedicína a forenzní vědy. Zavádění nových výpočetních technologií iniciovalo vznik nového konceptu morfometrie. Počítačová tomografie a 3D zobrazování poskytují anatomický popis vnějších, ale i vnitřních struktur, a tak lze sledovat problematiku přesahující témata řešená tradičním měřením. Navíc přístup zvaný geometrická morfometrie umožňuje vytvářet geometrické modely pro analýzy morfologických rozdílů vznikajících např. během ontogeneze v normě i patologii, a to v podobě virtuálních funkčních simulací, rekonstrukcí, různých vizualizačních schémat a morfingů (videa, která představují změnu – např. velikosti a tvaru jednoho objektu do objektu druhého). Spojení těchto nových nástrojů vedlo k vytvoření nového multidisciplinárního oboru virtuální antropologie, který sdružuje anatomické, biologické, matematicko-statistické a informačně-technologické principy výzkumu. Nyní je tomu již 10 let, co byla na katedře antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy založena Laboratoř zobrazovacích a analytických metod. Zabýváme se zde řadou témat právě za využití principů virtuální antropologie, nejčastěji ale řešíme problematiku spadající do oblasti biomedicínské a forenzní antropologie.

Virtuální antropologie je definována jako reálná antropologie, která studuje virtuální objekty (3D modely částí lidského těla). Mezi přednosti tohoto oboru patří přístupnost ke všem anatomickým částem lidského těla včetně vnitřních struktur skrytých běžnému pozorování, jako jsou útvary uvnitř mozkovny, paranasální a jiné dutiny v lebce, kořeny zubů, dřevňové dutiny dlouhých kostí, srdce a jeho komory a mnohé další. Pomocí dnešních zobrazovacích metod (počítačovou tomografií – computer tomography, CT a mikroCT, a magnetickou rezonancí – MRI a mikroMRI) lze získat maximálně informativní kvantitativní data s vysokou rozlišovací schopností hraničící s histologií, se zachycením kompletní geometrie objektu. Další výhodou je stálá dostupnost virtuálních objektů na stolním počítači a přenosných paměťových médiích nebo jejich sdílení přes internet. Tento přístup přináší i velké možnosti při práci s daty, nové statistické a vizualizační postupy a v neposlední řadě výměnu dat za účelem zvýšení velikosti zkoumaného souboru.

Definice geometrické morfometrie (GM) spočívá ve fúzi geometrie a biologie (Živa 2006, 2: 54–56). Představuje metodologii pro získávání, zpracovávání a analýzu tvarových proměnných, které si zachovávají geometrickou informaci obsaženou ve dvou- nebo trojrozměrných datech. Nejčastější způsob, jak analyzovat tvar a velikost organismu nebo dílčích orgánů, je jejich zjednodušení na množinu metrických bodů (homologických landmarků) či křivky, a následná mnohorozměrná analýza. K zadávání množin bodů a křivek slouží např. kontaktní skener MicroScribe, celkový povrch snímaného objektu zaznamenává mnoho typů povrchových skenerů vyráběných za