

# *Forenzná analýza stôp rezných nástrojov na kostiach*

## *Forensic Analysis of Traces of Cutting Tools on Bones*

---

SOŇA MASNICOVÁ<sup>1</sup>  
MAGDALÉNA KRAJNÍKOVÁ<sup>2</sup>  
RADOSLAV BEŇUŠ<sup>3</sup>

---

### **Abstrakt**

Článok sa venuje problematike foreznej analýzy stôp rezných nástrojov na kostiach. Zameriava sa na posudzovanie makroskopickej i mikroskopickej štruktúry poškodeného tkaniva vplyvom jednotlivých rezných nástrojov. Poukazuje na potrebu tímovej spolupráce viacerých odborníkov pri analýze a vyhodnocovaní stôp nástrojov na kostiach.

### **Kľúčové slová**

rezné stopy na kostiach, forenzná antropológia, súdna medicína, mechanoskopia

### **Abstract**

The article deals with the problem of forensic analysis of cutting tools traces on bones. It focuses on the assessment of macroscopic and microscopic structure of damaged tissue due to various cutting tools. It points out the need for teamwork of several experts in the analysis and evaluation of tool marks on the bones.

### **Key words**

cut marks on bones, forensic anthropology, forensic medicine, tool marks analysis

### **DOI**

<http://dx.doi.org/10.37355/fvpk-2021/1-02>

Traumatické poranenie skeletu vo forme stôp nástroja na kosti môžeme definovať ako zmenu spôsobenú v dôsledku kontaktu nástroja s objektom – kosťou. Kľúčové pri foreznej expertíze je vedieť čo najpresnejšie interpretovať úlohu, ktorú zohráva osoba/páchateľ pri spôsobení zranenia prostredníctvom nástroja. Táto interpretácia vyžaduje podrobnú analýzu morfológie stôp nástroja na kostre a pochopenie kontextu scény,

---

1 Doc. RNDr. Soňa Masnicová, PhD., Katedra kriminalistiky a forezných vied, Akadémia Policajného zboru v Bratislave, Sklabinská 1, 835 17 Bratislava, e-mail: [sona.masnicova@yahoo.com](mailto:sona.masnicova@yahoo.com)

2 JUDr. Magdaléna Krajníková, PhD., odborný asistent na Katedre kriminalistiky a forezných vied, Akadémia Policajného zboru v Bratislave, Sklabinská 1, 835 17 Bratislava, e-mail: [magdalena.krajnikova@minv.sk](mailto:magdalena.krajnikova@minv.sk)

3 Doc. RNDr. Radoslav Beňuš, PhD., vedúci Katedry antropológie, Prírodovedecká fakulta, UK v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, e-mail: [benus@fns.uniba.sk](mailto:benus@fns.uniba.sk)

v ktorej bolo telo nájdené. Pri posudzovaní kostnej traumy musí forenzný expert vedieť odlíšiť účinky modifikácií vyvolaných človekom (napr. lekárske, či kriminálne zásahy), od modifikácie spojenej environmentálnymi faktormi (napr. pôsobením zvierat, rozkladom, ohňom).

Traumu spôsobenú ostrým nástrojom možno definovať ako úzko smerovanú, dynamickú, ale pomaly zaťažujúcu kompresnú silu spôsobenú ostrým predmetom, ktorá spôsobuje poškodenie tvrdého tkaniva vo forme rezu (širokého alebo úzkeho). Môže ju spôsobiť akýkoľvek nástroj so skosenou hranou, pričom najčastejšie používanými a skúmanými sú nože a píly.<sup>4</sup> Problematika forenznej analýzy stôp rezných nástrojov na kostiach má interdisciplinárny charakter. Vyžaduje si tímovú spoluprácu forezného antropológa, súdneho lekára a ideálne aj experta z oboru mechanoskopie, ktorí na základe dôkladnej analýzy stôp nástroja na kostiach a jej vyhodnotením a interpretáciou môžu prispieť k identifikácii druhu použitého nástroja, spôsobu a okolností jeho použitia, a tak napomôcť k objasneniu okolností smrti – príčiny a spôsobu smrti.

Úspešná analýza a interpretácia násilného zranenia môže poskytnúť dôležité informácie o okolnostiach vzniku traumy, ako je pozícia obeť, informácie o útočníkovi, jeho zručnosti a tiež o spôsobe vzniku rán – či išlo o samovraždu alebo vraždu.<sup>5,6</sup> Okrem toho, pohyb nástroja pri čine môže byť preukázaný prítomnosťou reznej, sečnej alebo bodnej rany. Bodné a sečné rany sa od reznej odlišujú hĺbkou rany, ktorá je značne väčšia. Hoci ostrý predmet musí najprv preniknúť mäkkým tkanivom, tvrdé kostné tkanivo je práve to, ktoré si po zásahu zbraňou zachováva jej typické charakteristiky.<sup>7</sup> Vzhľadom na všeobecnú odolnosť voči rozkladu je kosť tkanivo, ktoré zachováva dôkazy o násilnom zranení oveľa dlhšie ako mäkké tkanivá. V praxi je však často dôležité vytvoriť repliku reznej stopy za účelom ochrany pôvodného dôkazového materiálu. Následne možno repliku rezu využiť na možnú identifikáciu druhu použitej zbrane.<sup>8</sup>

## Rezné zbrane

Nože a všeobecne rezné zbrane predstavujú špecifickú skupinu nástrojov, ktoré sa odlišujú od iných tried zbraní a tiež možno rozlišovať značné rozdiely v rámci samotnej triedy. Nôž ako taký má svoju špecifickú stavbu (obr. 1). Chrbát čepele predstavuje vrchnú

4 SYMES, S. A. et al. 2012. *Interpreting Traumatic Injury to Bone in Medicolegal Investigations*. In: Dirkmaat, D. (ed.). *A companion to forensic anthropology*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, p. 340–389.

5 KARGER, B. and B. VENNEMANN. 2001. *Suicide by more than 90 stab wounds including perforation of the skull*. *International journal of legal medicine*. Vol. 115, n. 3, p. 167–169.

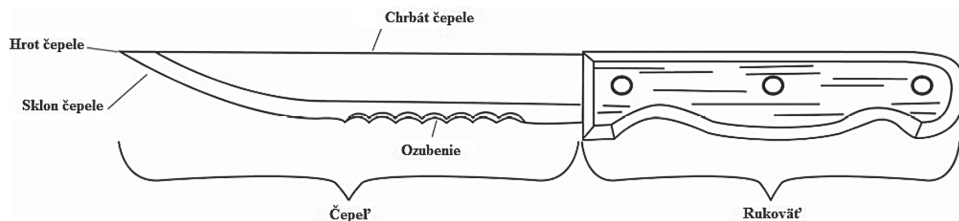
6 ORMSTAD, K. et al. 1986. *Patterns in sharp force fatalities – a comprehensive forensic medical study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 31, n. 2, p. 529–542.

7 BELLO, S. M. and C. SOLIGO. 2008. *A new method for the quantitative analysis of cutmark micromorphology*. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 35, n. 6, p. 1542–1552.

8 RAWSON, R. B. et al. 2000. *Scanning electron microscopic analysis of skin resolution as an aid in identifying trauma in forensic investigations*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 45, n. 5, p. 1023–1027.

časť, ktorá nie je nabrúsená a ozubená. Zosilnené časti tak vytvárajú oporu pre celý nôž. Rezná zošíkmená hrana je stenčenou reznou plochou noža.<sup>9</sup>

**Obr. 1:** Anatomia noža (upravené podľa Crowdera a kol.)<sup>10</sup>



Nože majú tenkú čepeľ, ktorá niekedy vyúsťuje v jeden bod. Majú obyčajne skosenú hranu, ktorá je na oboch stranách skosená v istom uhle. Čepeľ nožov sa od zadnej strany smerom k prednému okraju stenčuje. Všetky nože majú naostrenú aspoň jednu hranu.

Poznáme široké spektrum nožov rôznej dĺžky, veľkosti a použiteľnosti. Pri spôsobe rezných rán sa zvyčajne objavujú domáce kuchynské nože, ktoré majú hladké alebo vrúbkované ostrie. Nože so zúbkovanou hranou majú zuby vytvorené v rámci čepele a ich hrana je na jednej strane hladká, aby sa tým zlepšil rezací účinok. Nože s hladkou čepeľou sú vyrábané samostatne alebo v kombinácii s iným druhom čepele. K nožom taktiež zaradujeme aj rezačky na krabice, žiletky a mačety (obr. 2).

V praxi je možné rozoznávať, či bol použitý nôž so zúbkovanou alebo s hladkou čepeľou. Nože so zúbkovanou čepeľou zanechávajú na kostiach zárez v tvare „Y“, kým nože s hladkou čepeľou vytvárajú zárez v tvare „T“. Ak sú nože použité v piliacom pohybe, vytvárajú zárezy v tvare V, viditeľné v priečnom priereze, a to bez ohľadu na to, či ide o hladkú alebo zúbkovanú čepeľ. Preto je potrebné tiež rozoznávať, akým spôsobom bol nôž použitý, resp. či bol použitý na bodanie, rezanie alebo sekanie.<sup>11</sup>

9 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

10 Tamtiež.

11 SYMES, S. A. et al. 2012. *Interpreting Traumatic Injury to Bone in Medicolegal Investigations*. In: Dirkmaat, D. (ed.). *A companion to forensic anthropology*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, p. 340–389.

**Obr. 2:** Všeobecné vlastnosti nožov (upravené podľa Symesa a kol.)<sup>12</sup>

(a) Skosenie	
(b) Čepeľ	
(c) Počet hrán	
(d) Tvar dna zárezu vytvorený nožom na kosti	

### Rozdiely v stopách spôsobených nožmi so zúbkovanou a hladkou čepeľou

Zúbkovaná čepeľ noža je vytvorená odstránením kúskov kovu vo forme mušle zo skosenej reznej hrany. Takéto nože majú tendenciu zanechávať ryhovanie reprezentujúce vlnitý alebo zúbkovitý povrch čepele a vykazujú zreteľný vzor (obr. 3). Tvar ozubenia ovplyvňuje mieru vytvoreného ryhovania na tkanive.<sup>13</sup>

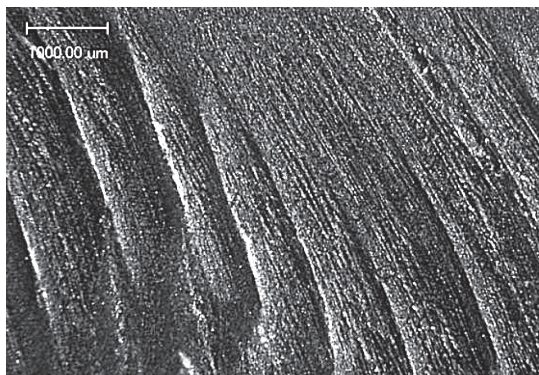
Nože so zúbkovanou čepeľou možno rozdeliť do dvoch skupín: nože s dlhými zubami, ktoré sú od seba ďaleko postavené a nože s malými, husto pri sebe stojacimi zubkami, ktoré majú podobnú funkciu ako píla. Takéto typy nožov produkujú zárezy s odlišnou štruktúrou (obr. 4). Čepeľ nožov s husto osadenými zubami je na jednej strane plochá, na druhej tvarovaná. To produkuje pomerne široké a plytké drážky, ktoré sú u bežných kovových nožov neobvyklé. Sú zle definovateľné a trochu podobné tým, ktoré sú vytvorené pílou.

<sup>12</sup> Tamtiež.

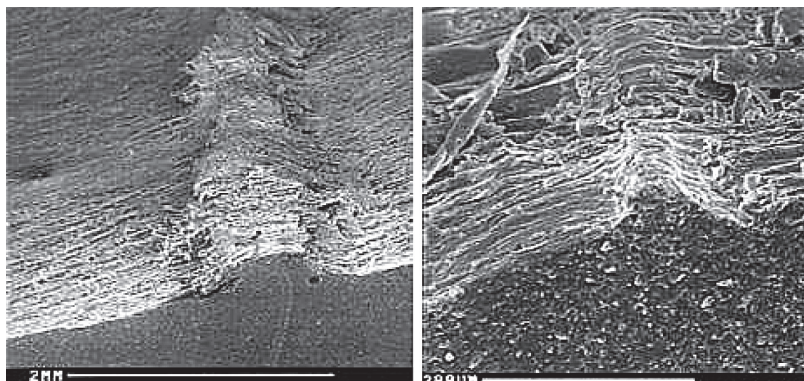
<sup>13</sup> CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

Zúbkované ostrie vytvára v priemere dlhšie a užšie rezné rany než hladké čepele. Okrem toho aj stupeň poškodenia na kosti je u takýchto nožov väčší. Poškodenie je závažnejšie u kostí s vyšším podielom špongiózy.<sup>14</sup>

**Obr. 3:** Ryhovanie vytvorené zúbkovanou čepeľou noža (30x)<sup>15</sup>



**Obr. 4:** Vľavo: SEM fotografia zárezu vytvoreného zúbkovanou čepeľou s dlhými, ďaleko od seba vzdialenými zubami; vpravo: SEM fotografia zárezu vytvoreného zúbkovanou čepeľou s malými, husto pri sebe stojacimi zubkami<sup>16</sup>



Nože s hladkou čepeľou nevytvárajú viditeľné ryhy, ale môže byť zachované jemné ryhovanie spôsobené skosenou reznou hranou noža (obr. 5).<sup>17</sup> Do tejto skupiny patria

14 THOMPSON, T. J. U. and J. INGLIS. 2009. Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. *International journal of legal medicine*. Vol. 123, n. 2, p. 129–135.

15 CROWDER, CH. et al. 2011. Microscopis Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

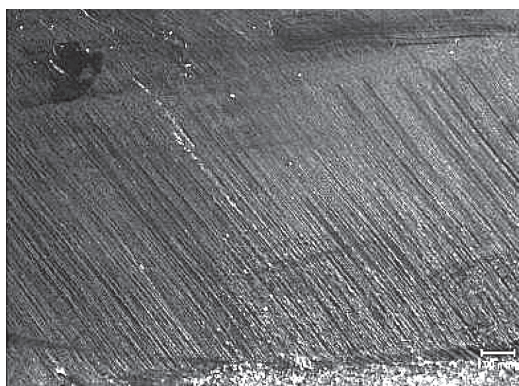
16 GREENFIELD, H. J. 1999. The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites. *Journal of archaeological science*. Vol. 26, n. 7, p. 797–808.

17 CROWDER, CH. et al. 2011. Microscopis Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

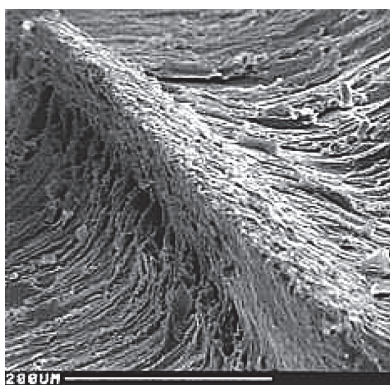


skalpely, britvy, typické oceľové kuchynské nože a väčšina vreckových nožíkov. Rezné hrany sú naostrené z oboch strán, aby sa zachovala ich ostrosť. Vytvárajú zárezy, ktorých prierez má tvar V. Dno zárezu je často mierne sploštené (obr. 6).<sup>18</sup> Najširšie stopy produkuje univerzálny nôž, naopak, najmenšia šírka stôp prislúcha skalpelu.<sup>19</sup> Tak ako aj pri zúbkovaných nožoch poškodenie je závažnejšie u kostí s vyšším podielom špongiozy.<sup>20</sup>

**Obr. 5:** Jemné ryhovanie vytvorené hladkou čepeľou noža (20x)<sup>21</sup>



**Obr. 6:** SEM fotografia zárezu vytvoreného hladkou čepeľou noža<sup>22</sup>



18 GREENFIELD, H. J. 1999. *The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites. Journal of archaeological science. Vol. 26, n. 7, p. 797–808.*

19 BARTELINK, E. J. et al. 2001. *Quantitative Analysis of Sharp-Force Trauma: An Application of Scanning Electron Microscopy in Forensic Anthropology. Journal of Forensic Science. Vol. 46, n. 6, p. 1288–1293.*

20 THOMPSON, T. J. U. and J. INGLIS. 2009. *Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. International journal of legal medicine. Vol. 123, n. 2, p. 129–135.*

21 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. Journal of Forensic Science. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.*

22 GREENFIELD, H. J. 1999. *The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites. Journal of archaeological science. Vol. 26, n. 7, p. 797–808.*

Vzhľadom na to, že zúbkované ostrie je vlnité a obsahuje zuby, takéto zúbkované nože môžu byť ľahko odlišiteľné od hladkých, najmä vďaka jasne viditeľnému ryhovaniu. Čiastočne ozubené nože vykazujú kombináciu zúbkovaného a hladkého ostria. Inými slovami, na vytvorenej stope sa môžu nachádzať charakteristiky zodpovedajúce tak zúbkovanému, ako aj hladkému ostriu noža (obr. 7). Dôvodom problému analýzy je často kontaktná plocha rezu, ktorá nemusí byť dostatočne veľká na to, aby boli pozorovateľné charakteristiky rezu.<sup>23</sup>

Odlíšiť jednotlivé triedy nožov na základe charakteristík pozorovaných na zárezoch je náročné. Uhol zdvihu čepele počas útoku je totiž jeden z najvplyvnejších faktorov, ktorý ovplyvňuje vzdialenosť medzi jednotlivými pruhmi. Pri zmene tohto uhla sa vzdialenosť medzi nimi mení.<sup>24</sup>

**Obr. 7:** Ryhovanie vytvorené čiastočne zúbkovanou čepeľou noža (10x)<sup>25</sup>



Aj keď je možné pozorovať vytvorené stopy voľným okom alebo vytvorením štandardnej fotografie, skenovaná elektrónová mikroskopia (SEM) sa stala užitočnou metódou aj pre analýzu rezných a bodných stôp. Tento postup je nedeštruktívny a pravdepodobne presnejší ako tradičné analytické metódy. Dôvodom je väčšie zväčšenie, ktoré umožňuje pozorovať aj tie najjemnejšie vzory vytvorené v záreze. Obr. 8 ukazuje SEM fotografie reprezentatívnych príkladov bodných rán, ktoré sa pri použití odlišného typu nástroja značne odlišujú.<sup>26</sup>

Nôž s hladkou čepeľou produkuje bodnú ranu v tvare písmena T, ktorá je obklopená trojuholníkovitými oblasťami zasiahnutej kompaktnej kosti. Zúbkovaný nôž vytvára stopu

23 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

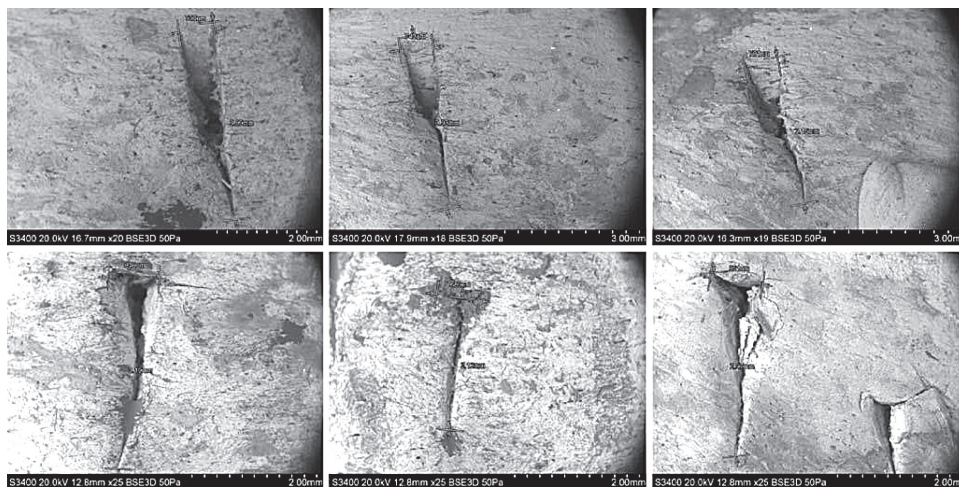
24 RAINWATER, CH. W. and CH. CROWDER. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma from Knives: A Validation Study*. *The Proceedings of the American Academy of Forensic Sciences*. Chicago, n. 17, p. 358.

25 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

26 THOMPSON, T. J. U. and J. INGLIS. 2009. *Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone*. *International journal of legal medicine*. Vol. 123, n. 2, p. 129–135.

v tvare Y, tiež obklopenú trojuholníkovitými oblasťami, ale s tzv. chvostom rezu, ktorý môže byť pravotočivý aj ľavotočivý. Bodná rana tvaru Y sa javí ako dlhšia a užšia, než rana tvaru T.

**Obr. 8:** Hore: Bodné rany vytvorené zúbkovým nožom; Dole: Bodné rany vytvorené nožom s hladkou čepeľou<sup>27</sup>



Bočné zalomenie chvosta zárezu tvaru Y je predmetom záujmu mnohých štúdií. V štúdií Thompsona a Inglisa<sup>28</sup> bolo po opakovaných pokusoch vytvorenia stopy pravou aj ľavou rukou zistené, že zbraň je sama o sebe príčinou lateralizácie chvosta rezu. Obr. 9 predstavuje prierez čepele zúbkového a hladkého noža a je zrejmé, že rezná hrana zúbkovanej čepele je orientovaná na jednu stranu hrany, naproti hladkej, ktorá je orientovaná na stred. Rezná hrana zúbkového noža môže byť lateralizovaná na pravú alebo ľavú stranu, popřípade na obe strany. Táto charakteristika noža sa následne odzrkadľuje na neúplnom reze kosti. Dlhšie a viac ohnuté steny zárezu reprezentujú stranu zakrivenia čepele za predpokladu, že je známy smer a rezný uhol noža (obr. 10).<sup>29</sup>

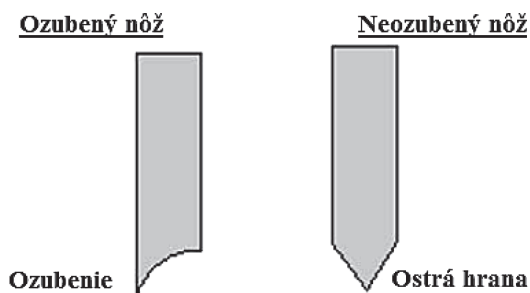
<sup>27</sup> Tamtiež.

<sup>28</sup> Tamtiež.

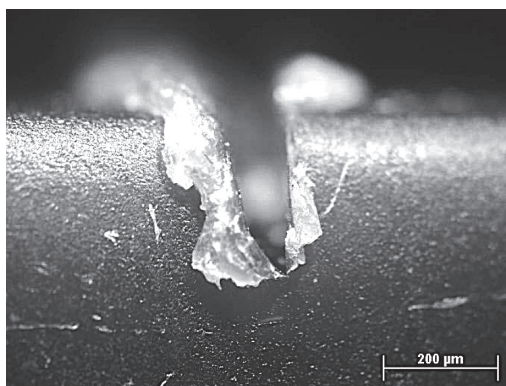
<sup>29</sup> CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. Journal of Forensic Science. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.*



**Obr. 9:** Prierez čepele zúbkovaného a hladkého ostria noža (upravené podľa Thompsona a Inglisa)<sup>30</sup>



**Obr. 10:** Zárez vytvorený nožom s zúbkovanou čepeľou orientovanou na ľavú stranu (20x)<sup>31</sup>



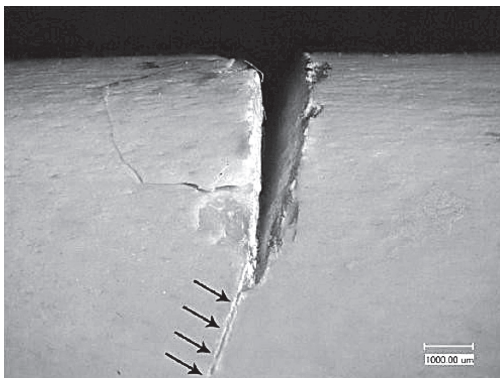
Príležitostne sa pri zárese nožom vyskytujú tzv. koncové škrabnutia, ktoré sú uvedené na obr. 11. Predstavujú povrchovú ryhu, ktorá je pravdepodobne výsledkom zachytenia čepele pri opúšťaní reznej škáry.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> THOMPSON, T. J. U. and J. INGLIS. 2009. Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. *International journal of legal medicine*. Vol. 123, n. 2, p. 129–135.

<sup>31</sup> CROWDER, CH. et al. 2011. Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

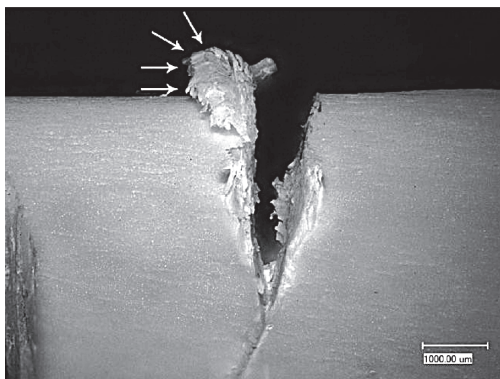
<sup>32</sup> RAINWATER, CH., W. and CH. CROWDER. 2011. Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma from Knives: A Validation Study. *The Proceedings of the American Academy of Forensic Sciences*. Chicago, n. 17, p. 358.

**Obr. 11:** Koncové škrabnutie (30x)<sup>33</sup>



Niektoré zárezy vykazujú povrchovú okrajovú deformáciu. Deformované kostné tkanivo sa nahromaďuje pozdĺž okraja steny zárezu (obr. 12). Pri zúbkovaných nožoch je val nahromadeného kostného tkaniva lokalizovaný na strane, ktorá zodpovedá strane orientácie reznej hrany čepele. Pri hladkých nožoch je okrajová deformácia tiež viditeľná, ale nie je spojená s orientáciou reznej hrany. Vo väčšine prípadov je deformácia viditeľná pri zúbkovaných nástrojoch častejšie ako pri hladkých.<sup>34</sup> Po zásahu nožom sa často vytvárajú na kostnom tkanive aj zlomeniny ako jav spojený s mechanickým poškodením tkaniva (obr. 13) K takýmto sekundárnym zmenám môže pravdepodobne dôjsť pri zmene orientácie noža v priebehu útoku.<sup>35</sup>

**Obr. 12:** Zárez s marginálnou deformáciou (40x)<sup>36</sup>



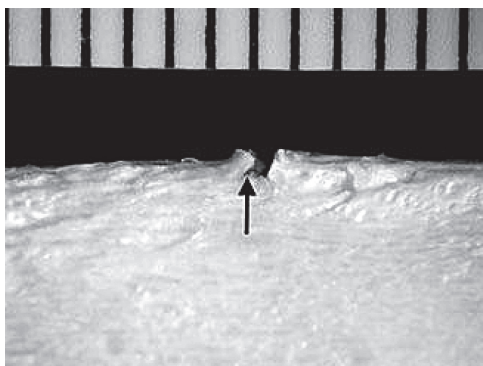
33 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

34 Tamtiež.

35 KOOI, R. J. and I. FAIRGRIEVE. 2013. *SEM and Stereomicroscopic Analysis of Cut Marks in Fresh and Burned Bone*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 2, p. 452–458.

36 CROWDER, CH. et al. 2011. *Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study*. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.

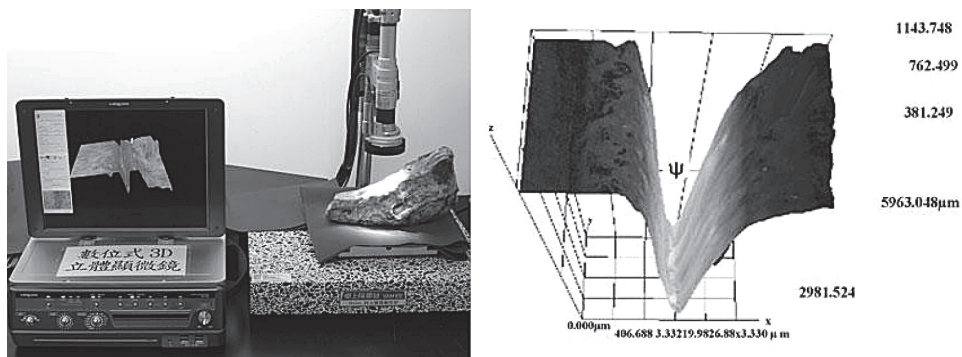
**Obr. 13:** Zlomenina ako následok poškodenia tkaniva nožom s hladkou čepeľou<sup>37</sup>



### Metóda na analýzu znakov noža zo stôp na kosti

Charakteristika vytvorených znakov na kostnom tkanive môže byť použitá na zisťovanie tvaru a uhla ostria noža. Shaw a kol.<sup>38</sup> uskutočnili štúdiu na s využitím lebiek prasiat, ktorej cieľom bolo popísať znaky na tkanive vytvorené nožmi. Sekanie bolo ovplyvnené gravitačným urýchlovačom. Na meranie zakrivenia noža a zanechanej stopy v tvare V bol použitý digitálny trojdimenzionálny mikroskop, model HIROX KH-7700 (HIROXCo. Ltd., Tokyo, Japonsko). Jedná sa o reflexný perspektívny digitálny mikroskop dvojakeho využitia, so širokou škálou špecifikácií kamier. Jeho zväčšenie sa pohybuje od 50x po 1000x a je použiteľné na rôzne účely. Prostredníctvom počítača je možné merať dĺžku, polomer a tiež uhol daného materiálu. Je tiež schopný vytvárať snímky z rôznych ohniskových vzdialeností a zlúčenia týchto snímok do jediného 3D obrazu (obr. 14).

**Obr. 14:** Vľavo: Digitálny mikroskop HIROX KH – 7700, vpravo: 3D obraz vytvorený digitálnym mikroskopom HIROX KH – 7700<sup>39</sup>



37 KOOI, R. J. and I. FAIRGRIEVE. 2013. SEM and Stereomicroscopic Analysis of Cut Marks in Fresh and Burned Bone. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 2, p. 452–458.

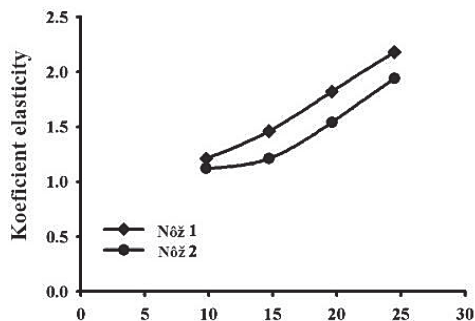
38 SHAW, K.-P. et al. 2011. A Method for Studying Knife Tool Marks on Bone. *Journal of Forensic Science*. Vol. 56, n. 4, p. 967–971.

39 Tamtiež.

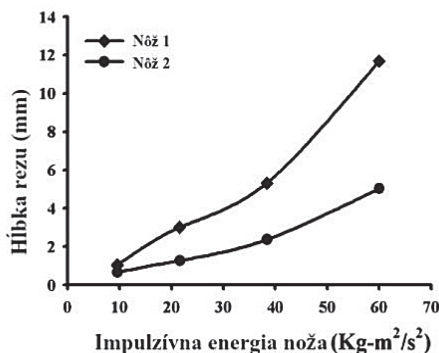
Experimentálne výsledky štúdie naznačujú pozitívnu lineárnu koreláciu medzi koeficientom elasticity a impulzívnej sily (obr. 15). Dôvodom tejto korelácie je zrejme zvýšená rýchlosť noža, spôsobená pri útoku z väčšej výšky, čo vedie k zväčšeniu impulzívnej sily pôsobiacej na kostné tkanivo. Podľa pravidla zachovania energie, impulzívna energia by mohla byť prijatá ako rovnocenná priemernému odporu pri tvorbe rezu. To poskytuje spôsob, ako vypočítať priemerný odpor so stúpajúcim zakrivením noža v grafe impulzívnej energie a hĺbky rezu.

Pretože čerstvá kosť je elastickejšia, intenzívnejšia externá sila pôsobiaca na kosť zvyšuje odraz od kosti. Krivka na obr. 16 znázorňuje vzťah hĺbky zárezu a využitej energie pri rezaní. Väčší odraz od kosti bol vytvorený pri silnejšom údere. Tiež bolo zistené, že väčšia externá sila spôsobuje hlbšie rezné známky tvaru V v tkanive, ktoré je sprevádzané väčšou elasticitou rezistenciou kosti ako aj vyšším koeficientom flexibility.<sup>40</sup>

**Obr. 15:** Vzťah medzi elastickým koeficientom a použitou silou (upravené podľa Shaw a kol.)<sup>41</sup>



**Obr. 16:** Vzťah medzi hĺbkou rezu a použitou silou (upravené podľa Shaw a kol.)<sup>42</sup>



<sup>40</sup> Tamtiež.

<sup>41</sup> Tamtiež.

<sup>42</sup> Tamtiež.

Štúdia ukázala, že je možné na základe stôp v kostnom tkanive charakterizovať použitý nôž a určiť jeho znaky, ako je tvar brúsenia a ďalšie fyzikálne vlastnosti čepele, čo umožňuje typovanie noža. Výsledky ukázali, že rôzne typy brúsenia čepele vytvárajú na kostiach jedinečné tvary vo forme zanechaných stôp v závislosti od tvaru reznej čepele. Tento výskum tiež ukázal, že vypočítaním koeficientu elasticity nasekaných kostí a kontrolou impulzívnej sily je možné simulovať, akým spôsobom mohla byť vyvíjaná sila útoku a tak prispieť k rekonštrukcii udalosti.

## Záver

V článku sme sa venovali problematike forenznej analýzy stôp rezných nástrojov na kostiach. Podrobnejšie sme sa zamerali na posudzovanie makroskopickej i mikroskopickej štruktúry poškodeného tkaniva vplyvom jednotlivých rezných nástrojov, pozornosť je potrebné venovať odlíšeniu zranení a stôp na kostiach spôsobených nožmi so zúbkovanou a hladkou čepeľou. Analyzovať takéto stopy je možné prostredníctvom skenovacej elektrónovej mikroskopie alebo digitálnym trojdimenzionálnym mikroskopom. Forezná analýza stôp rezných nástrojov na kostiach si vyžaduje tímovú spoluprácu viacerých odborníkov (forezného antropológa, súdneho lekára a experta z oboru mechanoskopie), ktorých znalosti môžu prispieť k identifikácii druhu použitého nástroja, spôsobu a okolností jeho použitia.

## Literatúra

1. BARTELINK, E. J. et al. 2001. Quantitative Analysis of Sharp-Force Trauma: An Application of Scanning Electron Microscopy in Forensic Anthropology. *Journal of Forensic Science*. Vol. 46, n. 6, p. 1288–1293.
2. BELLO, S. M. and C. SOLIGO. 2008. A new method for the quantitative analysis of cutmark micromorphology. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 35, n. 6, p. 1542–1552.
3. CROWDER, CH. et al. 2011. Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma in Bone and Cartilage: A Validation Study. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 5, p. 1119–1126.
4. GREENFIELD, H. J. 1999. The Origins of Metallurgy: Distinguishing Stone from Metal Cut-marks on Bones from Archaeological Sites. *Journal of archaeological science*. Vol. 26, n. 7, p. 797–808.
5. KARGER, B. and B. VENNEMANN. 2001. Suicide by more than 90 stab wounds including perforation of the skull. *International journal of legal medicine*. Vol. 115, n. 3, p. 167–169.
6. KOOI, R. J. and I. FAIRGRIEVE. 2013. SEM and Stereomicroscopic Analysis of Cut Marks in Fresh and Burned Bone. *Journal of Forensic Science*. Vol. 58, n. 2, p. 452–458.
7. ORMSTAD, K. et al. 1986. Patterns in sharp force fatalities – a comprehensive forensic medical study. *Journal of Forensic Science*. Vol. 31, n. 2, p. 529– 542.
8. RAINWATER, CH. W. and CH. CROWDER. 2011. Microscopic Analysis of Sharp Force Trauma from Knives: A Validation Study. *The Proceedings of the American Academy of Forensic Sciences*. Chicago, n. 17, p. 358.



9. RAWSON, R. B. et al. 2000. Scanning electron microscopic analysis of skin resolution as an aid in identifying trauma in forensic investigations. *Journal of Forensic Science*. Vol. 45, n. 5, p. 1023–1027.
10. SHAW, K.-P. et al. 2011. A Method for Studying Knife Tool Marks on Bone. *Journal of Forensic Science*. Vol. 56, n. 4, p. 967–971.
11. SYMES, S. A. et al. 2012. Interpreting Traumatic Injury to Bone in Medicolegal Investigations. In: Dirkmaat, D. (ed.). *A companion to forensic anthropology*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, p. 340–389.
12. THOMPSON, T. J. U. and J. INGLIS. 2009. Differentiation of serrated and non-serrated blades from stab marks in bone. *International journal of legal medicine*. Vol. 123, n. 2, p. 129–135.