

Mojca Dovnik, Jože Balazic, Dejan Dinevski

Potenciali umetne inteligence za uporabo v sodnomedicinski praksi

Povzetek. Raziskovanje možnosti, ki jih umetna inteligenca ponuja za reševanje različnih problemov v medicini, predstavlja zelo aktualno področje znanosti. Na področju sodne medicine, ki je izrazito vizualna veja medicine tako na makroskopski kot na mikroskopski ravni, so posebej obetavne konvolucijske nevronske mreže, ki imajo odlično sposobnost prepoznavne in kategorizacije slikovnega materiala. Specialistu sodne medicine so lahko v pomoč pri ugotavljanju vzrokov smrti, identifikaciji, interpretaciji strelnih ran, določanju časa nastopa smrti in pri kliničnem delu. Vendar pa so metode umetne inteligence na področju sodne medicine v različnih fazah zrelosti za uporabo v realnih delovnih okoliščinah. V splošnem so še posebej uporabne za pregled kompleksnih baz podatkov, ko je potrebno izluščiti določen podatek ali opozoriti na določeno podrobnost, ki bi se lahko izkazala za pomembno pri končni odločitvi oziroma diagnozi. Interpretacija zaključkov algoritmov umetne inteligence pa ostaja v domeni specialista sodne medicine. Umetno inteligenčni sistemi imajo tudi slabosti, njihova vpeljava v vsakodnevno delo pa na področju sodne medicine predstavlja še posebej kompleksno nalogo, saj ocena relevantnosti uporabe in sprejemanje takšnega načina dela ni odvisna zgolj od zdravnikov, temveč tudi od sodnikov ter odvetnikov, žrtev in storilcev kaznivih dejanj.

Ključne besede: umetna inteligenca; sodna medicina; identifikacija; čas smrti; kremenaste alge; strelne rane.

Potentials of Artificial Intelligence for Use in Forensic Medical Practice

Abstract. The potential of artificial intelligence to solve various problems in medicine is an intensively researched area of science. Convolutional neural networks, which have an excellent ability to recognize and categorize imagery, are especially promising in the field of forensic medicine, which is a particularly visual branch of medicine at both the macroscopic and microscopic level. They can be helpful to the forensic medicine specialist in determining causes of death, identification of human remains, interpretation of gunshot wounds, estimating post-mortem interval, and in clinical work. However, artificial intelligence methods in forensic medicine are at various stages of maturity for use in real-world work situations. In general, they are particularly useful in reviewing complex databases, extracting specific information or pointing out a particular detail that may prove important to the final decision or diagnosis. However, the interpretation of the conclusions of artificial intelligence algorithms is left to the forensic medical specialist. Artificial intelligence systems also have weaknesses, and their introduction into the daily work of forensic medicine is a particularly complex task, since the assessment of the relevance of the use and the acceptance of such a way of working depends not only on medical doctors, but also on judges and lawyers, victims and offenders.

Key words: artificial intelligence; forensic medicine; identification; post-mortem interval; diatoms; gunshot.

■ **Infor Med Slov** 2022; 27(1-2): 33-41

Institucije avtorjev / Authors' institutions: Univerzitetni klinični center Maribor (MD); Medicinska fakulteta Ljubljana, Univerza v Ljubljani (JB); Medicinska fakulteta Maribor, Univerza v Mariboru (DD).

Kontaktna oseba / Contact person: Mojca Dovnik, dr. med., UKC Maribor, Ljubljanska ulica 5, 2000 Maribor, Slovenija. E-pošta / E-mail: mojca.dovnik@student.um.si.

Prispelo / Received: 30. 1. 2023. Sprejeto / Accepted: 31. 1. 2023.

Uvod

Raziskovanje možnosti, ki jih umetna inteligenca (UI; angl. *artificial intelligence*) ponuja za reševanje različnih problemov v medicini, predstavlja zelo aktualno in pomembno področje znanosti. UI se ukvarja s tako imenovanimi »mislečimi stroji«. Predstavlja teorijo in razvoj računalniških sistemov, ki so sposobni opravljati naloge, za katere bi sicer bila potrebna človeška inteligenca, kot so vidno zaznavanje, prepoznavanje govora in odločanje. Umetnointeligenčni sistemi so sposobni učinkovitega pregledovanja masivnih podatkov (angl. *big data*) in njihovega razvrščanja. Ena izmed vej UI je strojno učenje (angl. *machine learning*). Obsega različne tehnike analize vhodnih podatkov in odločanja, pri čemer se praviloma zanaša na posredovanje programerja pri razumevanju vhodnih podatkov. Globoko učenje (angl. *deep learning*) je metoda strojnega učenja, ki omogoča reševanje kompleksnih problemov in za svoje delovanje ne potrebuje človekovega posredovanja. Definiranje značilnosti, ki so potrebne za končni odločitveni proces, pri globokem učenju ni potrebno, temveč gre za avtomatski proces oziroma sposobnost samostojnega učenja. Globoko učenje posnema delovanje človeških možganov in je zasnovano na nevronskih mrežah. Natančneje so konvolucijske nevronske mreže (angl. *convolutional neural networks*) tiste, ki imajo odlično sposobnost prepoznave in kategorizacije slikovnega materiala. Za svoje delovanje uporabljajo principe linearne algebre, predvsem matrično množenje za prepoznavanje vzorcev v slikah.¹⁻⁴

Konvolucijske nevronske mreže so že pokazale velik potencial za uporabo v diagnostiki in obravnavi različnih bolezenskih stanj in so obetavne tudi na področju sodne medicine, ki je izrazito vizualna veja medicine tako na makroskopski kot na mikroskopski ravni. Sodna medicina s posredovanjem medicinskih ugotovitev pravnim in drugim pristojnim oblastem sodeluje v razrešitvah kazenskih in civilnih zadev. Temeljno opravilo specialista sodne medicine vključuje obdukcije umrlih sumljivih smrti, ki so v zvezi ali posledica kaznivega dejanja. Prav tako je pomembno delo na področju izvedenstva v kazenskih, civilnopravnih ter zavarovalniških zadevah, mrliškopregledna služba, histološka dejavnost, forenzična genetika, forenzična toksikologija in antropologija, katastrofna služba ter klinična forenzična medicina. Metode UI so na področju sodne medicine v različnih fazah zrelosti za uporabo v realnih delovnih okoliščinah. Večinoma gre za fazo intenzivnega raziskovanja, s tem pa razvoja in preverjanja veljavnosti številnih modelov za uporabo.

V nadaljevanju so opisani primeri uporabe UI na področju tanatologije in klinične forenzične medicine, ki so do sedaj pokazali največji potencial.^{5,6}

Identifikacija trupel ali delov trupel

Positivna identifikacija mrtvih na podlagi medicinsko relevantnih značilnosti je mogoča s pomočjo neprimerjalnih tehnik, kjer gre za določitev osnovnih značilnosti trupla (tj. spola, starosti, višine, teže in indeksa telesne mase) ali primerjalnih tehnik, kjer pa gre za iskanje ujemanja med posmrtnimi ostanki in informacijami in dokumenti živih za katere predvidevamo, da bi lahko bili med umrlimi. Značilnosti na katere se je mogoče upreti in tehnike, ki se bodo uporabile za določitev identitete, so v veliki meri odvisne od ohranjenosti trupla. Obstajajo različne možnosti vključevanja umetne inteligence tako v neprimerjalne kot tudi v primerjalne tehnike identifikacije.^{5,6}

Neprimerjalne tehnike identifikacije

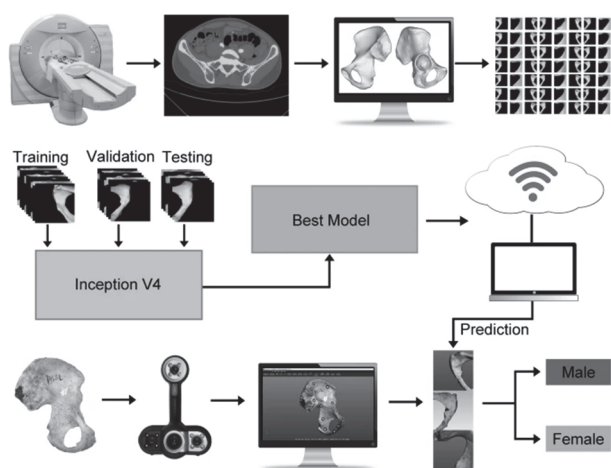
UI se na področju neprimerjalnih tehnik identifikacije največkrat uporablja za določanje spola in starosti trupla na podlagi rentgenskih slik (npr. ortopantomogramov), nekatere novejšje metode za določanje spola pa temeljijo tudi na razlikah v možganskih značilnostih, prikazanih s pomočjo magnetne resonance. Nekatere metode se uporabljajo tudi za rekonstrukcijo obraza na podlagi zobozdravstvenih značilnosti.^{5,7}

Uporaba raznih 3D in slikovnih tehnik (računalniške tomografije, magnetne resonance, skenerjev, ipd.) v sodnomedicinskih postopkih identifikacije je sicer dobrodošla, vendar ena sama tehnika običajno ne zadošča za določitev spola žrtve, še posebej skeletiziranega trupla. Kombinirana uporaba navedenih tehnik je predvsem s finančnega vidika zaenkrat nesprejemljiva, zato se v sodni medicini poslužujemo osnovne DNK genotipizacije (določitev osnovnega genetskega profila), ki združuje tudi fenotip in je zaenkrat tudi najnatančnejša in cenovno sprejemljiva metoda za določanje spola neznanega, predvsem skeletiziranega trupla.

Določanje spola neskeletiziranih trupel običajno temelji na zunanem pregledu trupla, v primeru skeletiziranih posmrtnih ostankov pa na morfoloških značilnostih ter morfometriji lobanje, medenice ter dolgih in nekaterih drugih kosti. Določanje starosti je težavnejše od določanja spola neskeletiziranega trupla in gre običajno za grobo oceno z ozirom na barvo las, elastičnost kože, stanje zobovja, morebitno prisotnost

senilnega obroča na robu roženice in prisotnost različnih stopenj degenerativnih aterosklerotičnih sprememb arterij. Eden izmed bolj natančnih pokazateljev starosti je ocena osifikacijskih jeder in stopnje fuzije epifiz. Po zaključku razvoja skeleta in zobovja obstaja manj zanesljivih znakov, ki bi bili uporabni za oceno starosti, zato ostaja določanje biološke starosti odraslih okostnjakov ena izmed najtežjih nalog na področju forenzične antropologije.⁵

Različni modeli UI lahko pripomorejo k odločitvi glede spola in starosti skeletnih ostankov. Eden izmed takih modelov za določanje spola skeletnih ostankov je prikazan na sliki 1. Temelji na virtualnih 3D rekonstrukcijah medenice, izoblikovanih na osnovi slikovnega materiala, pridobljenega z računalniško tomografijo (CT). Algoritem se je izkazal za učinkovitejšega od človeka v pravilni določitvi spola navideznih 3D rekonstrukcij medenice dejanskih skeletnih ostankov. Te rekonstrukcije so ustvarili s pomočjo ročnega 3D optičnega čitalca. Čeprav je uporaba CT povezana z visokimi stroški nakupa opreme in njenega vzdrževanja in zahteva specializirano strokovno znanje; tak model konvolucijske nevronske mreže, ki ga je mogoče uporabiti na prenosnih napravah ob dostopu do 4G/5G omrežja, veliko obeta na področju določanja spola skeletnih ostankov na samem kraju zločina oziroma najdbe ostankov.⁸



Slika 1 Primer modela umetne inteligence za določanje spola skeletnih ostankov.

Problem v slovenskem prostoru predstavlja tudi dejstvo, da obe Medicinski fakulteti nista del zdravstvenega sistema po analogiji univerzitetnih klinik (Nemčija, Švica) in je tako sodelovanje z radiološkimi inštituti in oddelki bolnišnic ter obeh Univerzitetnih kliničnih centrov praktično nemogoče. Trenutno edini Inštitut za sodno medicino na Medicinski fakulteti v Ljubljani pa si modernih

slikovnih tehnik razen prenosnega rentgenskega aparata ter skenerja iz finančnih razlogov ne more samostojno privoščiti, zato je primoran pri svojem delu uporabljati konvencionalne metode in tehnike.

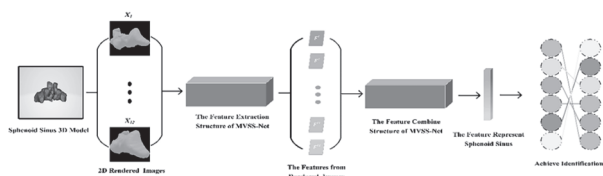
Primerjalne tehnike identifikacije

Umetna inteligenca je lahko v pomoč na področju genetike pri analizi kompleksnih genetskih profilov, v forenzični antropologiji v procesu kraniofacialne superprojekcije ali v forenzični odontologiji za klasifikacijo različnih posegov na zobovju ali prepoznavo določenih značilnosti zobovja (npr. avtomatsko analizo dentalnih rentgenskih slik). Trenutno se umetna inteligenca že uporablja v procesu identifikacije žrtev množičnih nesreč in je bila vključena v ta proces pri strmoglavljenju letala MH17 v Ukrajini leta 2014, letalski nesreči v Tripoliju leta 2010 in cunamiju na Tajskem leta 2004. Specialist sodne medicine se v primeru množične nesreče srečuje s številnimi žrtvami. Nekatere izmed njih lahko identificira s pomočjo primerjave obraza s sliko na potnem listu, najdenem na kraju nesreče. Poškodbe pa so lahko zelo hude in zaradi tega je tak način identifikacije ni mogoč. V tem primeru bi lahko zdravnik uporabil umetno inteligenco za izluščenje relevantnih značilnosti iz slike obraza, programska oprema pa bi nato te podatke primerjala z zbirko že identificiranih obrazov. Rezultate ujemanja bi nato zdravnik ustrezno ovrednotil in odločil o morebitnih dodatnih metodah, ki bi bile potrebne za identifikacijo.⁵

Pri uporabi tovrstnih algoritmov umetne inteligence so strokovnjaki pri identifikaciji žrtev letalske nesreče in cunamija naleteli na velik problem, saj večina predhodno fotografsko obdelanih obrazov žrtev ni bila na razpolago, oziroma so bili fotografski posnetki za tovrstno delo neuporabni.

Specialist sodne medicine se v procesu identifikacije osredotoča na različne značilnosti trupla. Pomembna je predvsem prepoznavna prstnih odtisov, analiza dednega materiala in ocena zobovja. Manj pogosto analizira anatomske in biološke značilnosti sfenoidalnega ali frontalnega sinusa, ki pa so prav tako edinstvene in se lahko uporabijo za identifikacijo posameznikov. Primer metode UI za identifikacijo posameznikov, ki temelji na oceni značilnosti 3D modelov sfenoidalnih sinusov, rekonstruiranih na osnovi CT slikovnega gradiva, je prikazan na sliki 2. Algoritem je sposoben izluščiti relevantne geometrijske značilnosti sfenoidalnega sinusa neidentificirane osebe in jih primerjati s slikovnim gradivom iz drugega obdobja (tj. zaživiljenjskimi CT posnetki sfenoidalnega sinusa). Metoda se opira na

človeka zgolj v procesu 3D rekonstrukcije sfenoidalnega sinusa.⁹



Slika 2 Primer modela umetne inteligence za identifikacijo.

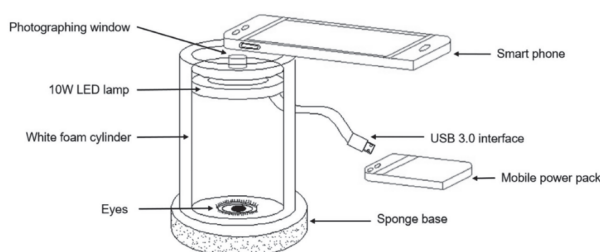
Določanje časa nastopa smrti

Metode UI se za določanje časa nastopa smrti opirajo predvsem na podatke, pridobljene z zunanjim pregledom trupla, zakonitosti forenzične entomologije in biokemije ter na spremembe telesne temperature trupla. Raziskujejo se načini za avtomatizirano določanje časa nastopa smrti na podlagi posmrtnih fotografij z določanjem stopnje motnosti roženice, na podlagi rezultatov biokemijske analize očesne vodice (predvsem koncentracije K^+) ali na podlagi mikrobioma in za določanje starosti in vrste forenzično pomembnih žuželk na podlagi spektrogramov ali fotografij. Prav tako se razvijajo metode UI, ki posredno prispevajo k določitvi časa nastopa smrti, npr. z oceno temperature okolice.^{5,10}

Metode za določanje časa nastopa smrti zaenkrat ne dopuščajo avtomatizacije, ker je za postmortalni interval potrebno upoštevati več različnih metod in tehnik. Avtomatizirana bi zaenkrat lahko postala normogramska metoda uporabe temperature jeder trupla (Henssgejev normogram), ki ga je mogoče z ustreznim računalniškim programom avtomatizirati. Metoda daje zaenkrat najbolj sprejemljiv postmortalni interval.

Po smrti roženica pomotni in se naguba zaradi postopne degeneracije in nekroze roženičnih celic, neenakomerne zadebelitve strome in izhlapevanja vode. Običajno specialist sodne medicine s prostim očesom oceni stopnjo motnosti roženice in ugotovitve zapiše v obdukcijski izvid. Vendar pa v tem primeru ne gre za objektivno kvantifikacijo in zato je ocena časa nastopa smrti na podlagi te ugotovitve zelo nezanesljiva. Raziskovalci so zato razvili metode UI za izboljšanje zanesljivosti ocene časa nastopa smrti na podlagi značilnosti roženice trupla. Primer predstavlja naprava (angl. *Corneal-Smart Phone*), ki omogoča fotografiranje in digitalno analizo pridobljenega slikovnega materiala ter oceno časa nastopa smrti, prikazana na sliki 3. Gre za prenosno napravo, sestavljeno iz pametnega telefona in nastavka, ki zagotavlja enakomerno osvetlitev in s tem

ustrezno kakovost slik za nadaljnjo analizo, ki jo opravi aplikacija na telefonu. Sistem je sposoben avtomatske prepoznave relevantnih značilnosti na slikah in ocene časa nastopa smrti, ki se nato prikaže na zaslonu telefona.¹¹



Slika 3 Shematski prikaz naprave za fotografiranje roženic trupel na terenu (angl. *Corneal-Smart Phone*).

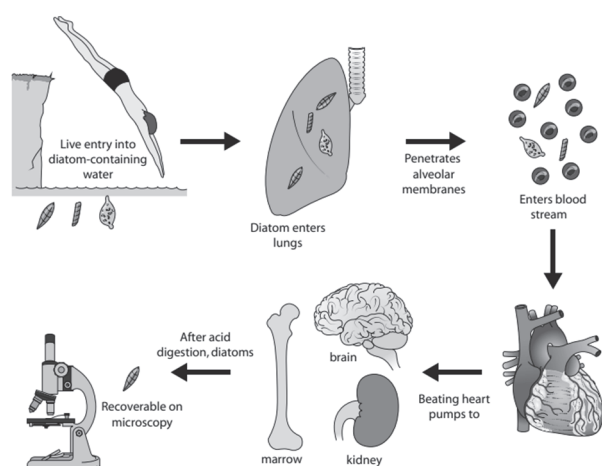
Ugotavljanje vzroka smrti

Metode UI so lahko v pomoč tudi pri ugotavljanju vzroka smrti. Lahko temeljijo na podatkih iz obdukcijskih zapisnikov, zdravniških potrdil o smrti in poročil o vzroku smrti, dokumentih s kliničnimi podatki o posamezniku ali na drugih analitičnih podatkih in so usmerjene predvsem na ovrednotenje verjetnosti za posamezni vzrok smrti. Lahko temeljijo tudi na analizi posmrtnega slikovnega gradiva in so v pomoč pri iskanju radioloških značilnosti, povezanih s posameznim vzrokom smrti (npr. zgostitve mlečnega stekla z zadebelitvijo acinarne in lobularne intersticije na CT slikah utopljenec). Eden izmed najbolj obetajočih načinov vključevanja teh metod v sodnomedicinsko prakso je uporaba metod UI v diagnostiki utopitve s testom na prisotnost kremenastih alg.^{5,12}

Kremenaste alge ali diatomeje so enocelične alge s silicijevim eksoskeletom. V primeru utopitve predrejo alveolarne stene, nato po vstopijo v krvni obtok in se prenesejo tudi do oddaljenih organov, kot so možgani, ledvice, jetra in kostni mozeg. Po obdelavi vzorcev organov, odvzetih med obdukcijo, z žveplovo ali dušikovo kislino se visoko odporni eksoskelet kremenastih alg ohrani in ga je mogoče prepoznati pod mikroskopom. Alternativno se organizmi lahko določajo tudi iz krvi. Zaradi možnosti izgube kremenastih alg med pripravo preparatov za analizo po klasičnih metodah in v izogib lažno negativnim rezultatom se lahko kemijska digestija organskih snovi zamenja tudi z mikrovalovno digestijo, centrifugiranje z vakuumsko filtracijo, klasično svetlobno mikroskopiranje pa z vrstičnim elektronskim mikroskopiranjem.^{2,6,13,14}

Če je bilo truplo zgolj odvrženo v vodo, lahko kremenaste alge kljub temu pasivno poniknejo v pljuča, vendar pa jih v tem primeru ne bo mogoče najti v oddaljenih organih, kar bi bila posledica odpovedi cirkulacije že pred stikom z vodo. Zaradi tega test s kremenastimi algami predstavlja eno od možnosti za diagnosticiranje utopitve (slika 4) in je še posebej uporaben pri močno gnilobno spremenjenih truplih.⁶

Ocenjujejo, da obstaja več kot 20.000 različnih vrst kremenastih alg. V splošnem oligohalofilne diatomeje živijo v sladkovodnih območjih, mezo- in polihalofilne pa v slani oziroma morski vodi. Posamezne živijo le v točno določenem habitatu z določeno količino hranil, svetlobe, mineralno sestavo, temperaturo in globino. Populacije kremenastih alg so zato raznolike in dinamične oziroma odvisne od okoljskih sprememb na določenem območju. Z ekološko tipizacijo kremenastih alg, njihovo kvantifikacijo in primerjavo vzorcev tkiv in vzorcev vode je tako mogoče oceniti tudi lokacijo utopitve (npr. v primerih, ko je vodni tok truplo naplaval na oddaljeno mesto). Učinkovitost določanja lokacije utopitve pa je odvisna tudi od vzpostavljanja podatkovnih zbirk, v katerih bi bili zbrani profili kremenastih alg v vodnih virih na določenem območju v določenem mesecu ali letnem času, da bi z njimi lahko primerjali profile kremenastih alg iz vzorcev tkiv trupel.^{6,13}



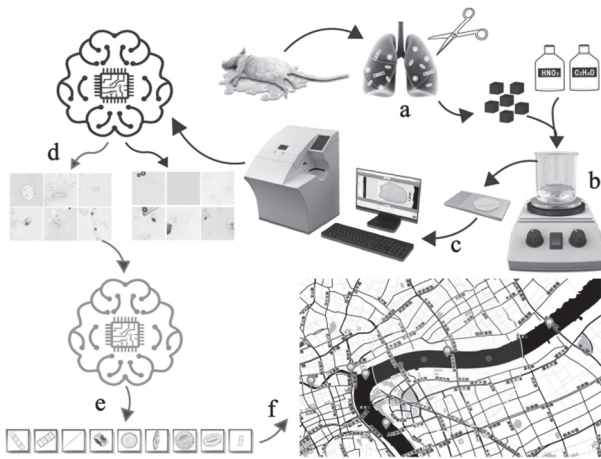
Slika 4 Načelo uporabnosti kremenastih alg pri opredelitvi utopitve kot vzroka smrti.

Test s kremenastimi algami za potrditev utopitve pa ima tudi nekatere slabosti. Kremenaste alge so prisotne praktično povsod, ne le v vodnih virih, temveč tudi v zraku in zemlji. Nahajajo se v hrani, npr. v morskih sadežih, pa tudi nekateri pogosto uporabljeni minerali in drugi proizvodi, kot je npr. kreda, vsebujejo diatomejam podobne materiale. Kremenaste alge bi lahko oddaljene organe dosegle

tudi preko vstopa v cirkulacijo iz prebavnega trakta. Zaradi tega je zanesljivost testa s kremenastimi algami še vedno sporna. Potrebno je upoštevati okoliščine smrti ter kvantitativno razliko v številu kremenastih alg, določenih v truplih utopljenec, v primerjavi z drugimi trupli. Test s kremenastimi algami specialistom sodne medicine ostaja v pomoč pri določitvi utopitve kot vzroka smrti, vendar ni primeren kot dokaz na sodišču.⁶

Verjetnost za lažno pozitivne rezultate testa na prisotnost kremenastih alg v oddaljenih organih zaradi kontaminacije pred ali po smrti se lahko zmanjša z natančno kvalitativno in kvantitativno analizo. Ker pa je določanje morebitne prisotnosti kremenastih alg v izbranih vzorcih utrudljivo, časovno zahtevno in drago ter pogosto zahteva specifično znanje taksonomije, so bili razviti visoko učinkoviti, hitri in objektivni umetno-inteligenčni sistemi za avtomatizirano prepoznavo in razvrščanje posameznih vrst kremenastih alg. Temeljijo na kombinaciji globoke konvolucijske nevronske mreže s sposobnostjo prepoznave in kategorizacije slikovnega materiala z digitalno patologijo, ki ponuja platformo, preko katere je mogoče digitalno pregledovati, upravljati, deliti in analizirati mikroskopske preparate.^{2,13}

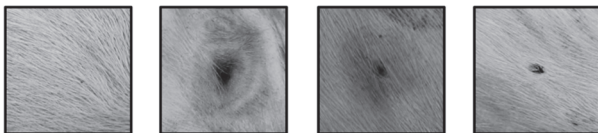
Na sliki 5 je prikazan primer strategije umetno-inteligenčnega sistema za mikroskopsko identifikacijo skeleta kremenastih alg na digitaliziranih mikroskopskih preparatih. Iz tkivnih vzorcev se po obdelavi s kislinami pripravijo mikroskopski preparati, ki jih je nato potrebno digitalizirati z optičnim bralnikom. Model konvolucijske nevronske mreže prepozna kremenaste alge iz vzorcev tkiv (ali vzorcev vode) in jih nato tudi razvrsti, kar omogoči sklepanje na mesto utopitve (primerjava profila specifičnih diatomej v vzorcih tkiv in vzorcih vode).¹³



Slika 5 Primer strategije umetnointeligentnega sistema za mikroskopsko identifikacijo skeleta kremenastih alg.

Interpretacija strelnih ran

Balistika je veda, ki se ukvarja z gibanjem, obnašanjem in učinkom izstrelkov in zajema tudi balistiko rane, tj. preučevanje gibanja izstrelka po prodoru v človeško tkivo. Interpretacija strelnih ran s strani specialista sodne medicine pomembno prispeva k rekonstrukciji dogajanja v času streljanja, kar je v javnem interesu in ima seveda tudi pravne posledice. Zaradi tega morajo biti zaključki glede tipa orožja in izstrelka, strelne razdalje in smeri strela čim bolj natančni. Modeli UI so lahko v pomoč pri interpretaciji strelnih ran, npr. pri oceni strelne razdalje na podlagi fotografij rane. Na sliki 6 so prikazani primeri strelnih ran. Od leve proti desni prva slika predstavlja negativno kontrolo; druga slika rano po strelu iz absolutne bližine z vidno sledjo cevi in strelno rano, ki je večja od kalibra izstrelka zaradi delovanja smodniških plinov; tretja slika rano po strelu iz bližine z vidno sledjo plamena, dimnim kolobarjem in tetovažo; četrta slika pa rano po strelu iz razdalje, kjer dopolnilnih faktorjev ne najdemo. Različni tipi strelnih ran imajo torej različne vizualne značilnosti, kar je osnova modelov UI za določanje oddaljenosti strela.^{6,15}

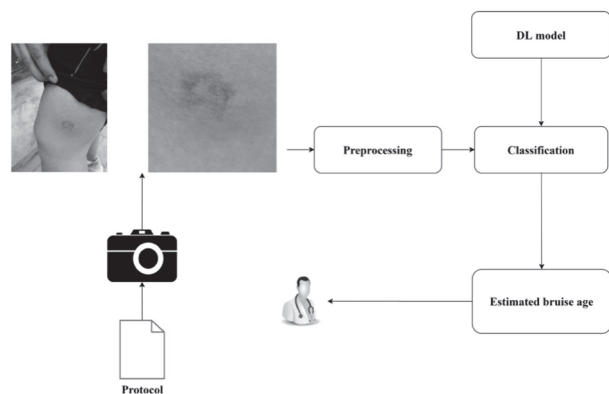


Slika 6 Reprezentativni primeri strelnih ran, nastalih po streljanju z različnih strelnih razdalj.

Klinična forenzična medicina

Klinična forenzična dejavnost vključuje telesne preglede živih preiskovancev in izvajanje drugih preiskav, potrebnih za oceno starosti, mentalnega

stanja ali stopnje telesnih poškodb posameznikov. Metode UI zaenkrat niso vključene v delo specialista sodne medicine na tem področju, kljub temu pa se številne raziskave ukvarjajo s potencialnimi možnostmi za njihovo uporabo, še posebej na področju forenzične psihiatrije. Metode UI so lahko v pomoč tudi pri pregledu žrtev spolnega nasilja z avtomatsko razvrstitvijo kolposkopskih slikovnih izvidov. Tako bi npr. specialist sodne medicine lahko žrtev pregledal z digitalnim kolposkopom, povezanim z računalnikom. Vsakič bi posneto sliko pregledal umetnointeligentni sistem na računalniku in prepoznal ter izpostavil poškodbe, vidne na sliki, ki bi jih nato specialist sodne medicine ustrezno ovrednotil glede na relevantnost za opredelitev posilstva. Prav tako bi bila možna avtomatska ocena starosti podplutb na osnovi fotografij (slika 7). Podplutbe so namreč krvavitve pod površino kože, ki nastanejo zaradi udarca s topim predmetom in so na površini vidne kot obarvanje kože, ki se spreminja s časom in je lahko opazno tudi po 30 dneh po poškodbi.^{5,16}



Slika 7 Primer modela umetne inteligence za avtomatsko oceno starosti podplutb.

Virtopsija

Skupaj s klinično radiologijo se razvija tudi področje forenzične radiologije. Večrezinski računalniški tomograf, magnetna resonanca in 3D skeniranje se v nekaterih primerih kombinirajo s klasičnimi obdukcijami za dokumentiranje poškodb na objektivni in neinvazivni način. Radiološke metode so se za prepoznavanje nekaterih poškodb skeleta in tkiv izkazale kot boljše v primerjavi s klasično obdukcijo. Trirazsežni pristopi imajo potencial tudi za oblikovanje animacij, ki lahko pripomorejo k boljšemu razumevanju dinamičnega nastanka določenega vzorca poškodb, s tem pa k oceni verjetnosti, da je bila določena poškodba povzročena z določenim predmetom (možna je npr. primerjava telesnih poškodb s poškodbami na vozilu v primeru prometnih nesreč).¹⁷⁻¹⁹

Uvajanje novih metod v sodnomedicinsko prakso pa je prineslo tudi potrebo po ustrezni podatkovni zbirki za shranjevanje forenzičnih radioloških in patoloških ugotovitev v digitalni standardizirani obliki, ki so registriranim uporabnikom ves čas na voljo za ogled in medsebojno primerjavo z namenom ovrednotenja navideznega pristopa k pregledu trupla (t. i. virtopsije) glede na trenutno uveljavljen zlati standard klasične obdukcije. Takšna podatkovna zbirka je tudi vir informacij za raziskovalne in učne namene, sredstvo za zbiranje, arhiviranje in posredovanje medicinskih podatkov na anonimen način zaradi sodelovanja in izmenjave izkušenj med institucijami na nacionalni in mednarodni ravni (telemedicina) ter orodje za spremljanje kakovosti dela.

V Švici so razvili metodo centraliziranega upravljanja s podatki (preko osrednjega strežnika), ki od končnega uporabnika ne zahteva nakupa, nameščanja ali vzdrževanja nobene specializirane programske ali strojne opreme. Omogoča hitro in enostavno deljenje ustreznih protokolov številnim uporabnikom, medtem ko se dostop do podatkov in njihova analiza opravlja centralno. Na ta način je mogoče bolj enostavno vzpostavljati različnih registrov. Dodatno lokalni internetni strežnik deluje kot filter med uporabnikom in centralno podatkovno zbirko oziroma omogoča, da vsak inštitut dostopa do sistema preko lastne spletne strani ter tako ohranja kontrolo in odgovornost za občutljive medicinske podatke. Samo anonimizirani podatki se posredujejo do osrednjega strežnika. Takšna podatkovna zbirka torej pomembno prispeva tudi k uveljavljanju virtopsije v sodnomedicinsko prakso, saj omogoča neposredno primerjavo radioloških in patoloških podatkov ter s tem določanje ločljivosti in občutljivosti posamezne metode za prepoznavo različnih značilnosti trupla.¹⁹

Razprava

Z napredkom informacijske tehnologije, računalniških sistemov in dostopnostjo do obširnih podatkovnih zbirk so se v zadnjem desetletju pokazale številne potencialne možnosti uporabe metod UI na področju sodne medicine. Predvsem gre za metode s sposobnostjo reševanja določenih nalog na podlagi prepoznavanja vzorcev v kopici različnih vrst podatkov (številskih vrednosti, slikovnega gradiva, poročil, videoposnetkov in grafikonov), kar omogoča širšo uporabno vrednost teh metod, npr. prepoznavo različnih anomalij na posmrtnem slikovnem gradivu. Vendar pa določen model UI lahko opravlja zgolj točno določeno nalogo (npr. model za določanje starosti posameznika ne more določati tudi spola ali uporabljati kakršnihkoli drugih podatkov, ki niso bili

vklučeni v proces učenja brez posredovanja človeka).⁵

Metode UI so lahko kljub temu na različne načine v pomoč specialistu sodne medicine pri njegovem delu, npr. ugotavljanju vzrokov smrti, identifikaciji, interpretaciji strelnih ran, določanju časa nastopa smrti in pri kliničnem delu. Zaenkrat je po poročanju v literaturi identifikacija žrtev množičnih nesreč edino področje sodne medicine, kjer se UI že uporablja. Najnaprednejši tovrstni sistemi so že nekaj časa v praksi švicarskih sodnomedicinskih inštitutov, kjer se največ ukvarjajo z virtopsijo, ki bi naj sčasoma nadomestila klasično avtopsijo. Pri tem uporabljajo številne tehnike in računalniške programe, ki pa brez izkušenega človeškega strokovnega potenciala ne dajejo pričakovanih rezultatov (postmortalna računalniško tomografska angiografija, 3D računalniška obdelava trupla, jemanje bioloških vzorcev po načinu igelne biopsije, MRI slikovna obdelava).

Toda avtomatizacija bi tudi na drugih področjih bistveno pospešila sicer časovno zahtevne, kompleksne in utrudljive naloge ter prihranila administrativno delo. Avtomatizirana prepoznavna in razvrščanje kremenastih alg in njihova primerjava med vzorci tkiv in vode prinaša veliko prednosti pred ročnim pregledovanjem mikroskopskih preparatov in njihovo medsebojno primerjavo. Prav tako so umetnointeligentni sistemi sposobni pravilne prepoznave manjših ostankov kremenastih alg, ki bi jih človek običajno spregledal, kar zmanjšuje verjetnost za lažno negativne rezultate. Pri tem pa bo v prihodnosti potrebno zagotoviti, da je algoritem UI dovolj fleksibilen in sposoben prepoznati nove vrste kremenastih alg, na katere še ni naletel, oziroma bo potrebno sprotno učenje algoritma z novimi podatki o novih vrstah za zagotavljanje ustrezne natančnosti in pravilnosti prepoznave.^{2,3,5,14}

Ena od pomanjkljivosti obstoječe sodnomedicinske metodologije na področju določanja biološkega profila trupla ali njegovih ostankov je subjektivnost. Zanesljivost rezultata, ki temelji na makroskopski analizi, je namreč odvisna od izkušenosti opazovalca. Izkušnje pa je težko kvantificirati, kar lahko predstavlja problem v pravnem okolju, ko je nujna tudi natančna opredelitev verjetnosti za napako pri predstavljenih dokazih ozirom izvedenskem mnenju. Metode UI lahko pripomorejo k objektivizaciji in povečajo zanesljivost omenjenih metod, še posebej kadar gre za analizo subtilnih razlik npr. v obliki črevnice in spodnje čeljustnice pred puberteto in določanju spola na podlagi teh razlik.³

Metode UI so uporabne v procesu odločanja in se v določenih nalogah izkažejo celo za učinkovitejše in natančnejše od človeka. Avtomatsko definiranje značilnosti, ki so relevantne za končno odločitev, npr. o starosti skeletnih ostankov na podlagi zobovja, omogoča premostitev določenih slabosti obstoječih metod na določenem področju. Omeji lahko ključne napake, ki so posledica človekove utrujenosti, trenutnega čustvenega stanja ali drugih motenj. Model, ki deluje na ta način, lahko hkrati analizira več različnih struktur in značilnosti ter upošteva tudi dodatne, na katere se do sedaj v študijah še niso osredotočali.^{3,7,10}

Za doseganje zadovoljive točnosti pa mora biti na voljo osnovna podatkovna zbirka z zadostno količino podatkov, ki se lahko uporabi za učenje algoritma, ter ustrezna strojna in programska oprema. Velikokrat take podatkovne zbirke v našem okolju še ne obstajajo (npr. nimamo zbirke, kjer bi bile zbrane vse vrste kremenastih alg v slovenskih vodnih virih v različnih letnih časih, ki bi lahko predstavljale reprezentativne podatke za učenje algoritmov). Najprej bi bilo potrebno vzpostaviti te zbirke s podatki, zbranimi v enotnem formatu. Problem predstavlja tudi nezmožnost razumevanja in analiziranja delovanja UI v celoti (npr. ni natančno pojasnjeno, kako model UI na osnovi konvolucijskih nevronske mreže, ki je sposoben ocene višine posameznika glede na antropometrične meritve, dejansko interpretira te meritve in poda končno oceno, kar je povezano s kompleksno arhitekturo konvolucijskih nevronske mreže). Potrebno je upoštevati tudi stroške nakupa in vzdrževanja potrebne opreme. Ker v veliki meri temelji na slikovnem gradivu, dodatna slikovna diagnostika predstavlja dodatni strošek, ki ga v primeru klasične obravnave s strani specialista ni. Prav tako je zanesljivost končnega rezultata, ki ga poda algoritem UI, odvisna od kakovosti slikovnega gradiva, kar je lahko problem pri fotografiranju (npr. roženice ali strelnih ran) na terenu. Zaradi tega je potrebno pozornost usmeriti tudi na zagotavljanje enakovrednih pogojev za fotografiranje (npr. kot je to zagotovljeno pri roženičnem pametnem telefonu).^{2,3,5,8,14}

V splošnem je UI na področju sodne medicine še posebej uporabna za pregled kompleksnih zbirk podatkov, ko je potrebno izluščiti določen podatek ali za opozarjanje na določeno podrobnost, ki bi se lahko izkazala za pomembno pri končni odločitvi ozirom diagnozi. Interpretacija zaključkov algoritmov UI pa ostaja v domeni specialista sodne medicine.⁵

Zaključek

Glede na trenutna prizadevanja za vključevanje metod UI v medicinsko stroko in številne raziskave na tem področju, bo UI v prihodnosti najverjetneje našla svoje mesto tudi v vsakodnevnih sodnomedicinski praksi. Vendar pa na področju sodne medicine to predstavlja še posebej kompleksno nalogo, saj ocena relevantnosti uporabe in sprejemanje takšnega načina dela ni odvisna zgolj od zdravnikov, temveč tudi od sodnikov ter odvetnikov, žrtev in storilcev kaznivih dejanj. Vsako novo metodo mora pravosodje najprej priznati kot relevantno in verodostojno metodo, ki omogoča objektivne verodostojne materialne dokaze v kazenskih in civilno pravnih zadevah, za kar običajno preteče veliko časa. UI predstavlja orodje za pridobivanje informacij, ki se nato na sodišču uporabijo v argumentih in kot dokazno gradivo, zato mora biti ustreznost in neomajnost rezultatov vsakega takega orodja sistematično preverjena. Prav tako morajo biti algoritmi z vključevanjem UI neoporečni tudi v etičnem smislu (npr. ne sme biti nobenega suma, da je z uporabo algoritma prišlo do spolne ali rasne diskriminacije). Neoporečnost uporabljenih algoritmov mora biti zagotovljena na vseh področjih medicine, vendar pa so v pravnem kontekstu le-ti še pogosteje predmet kritike in dvomov.²⁰

Reference

1. Lidströmer N, Aresu F, Ashrafian H. Basic concepts of artificial intelligence: primed for clinicians. In: Lidströmer N, Ashrafian H (eds.). *Artificial intelligence in medicine*. Cham 2022: Springer; 3-20.
2. Zhou Y, Zhang J, Huang J, et al. Digital whole-slide image analysis for automated diatom test in forensic cases of drowning using a convolutional neural network algorithm. *Forensic Sci Int* 2019; 302: 109922. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109922>
3. Ortega RF, Irurita J, Campo EJE, Mesejo P. Analysis of the performance of machine learning and deep learning methods for sex estimation of infant individuals from the analysis of 2D images of the ilium. *Int J Legal Med* 2021; 135(6): 2659-2666. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02660-6>
4. Burger G. *Definicije in algoritmi umetne inteligence*. https://www.dih Slovenia.si/assets/images/DIH_Slovenia_Definicije_in_algoritmi_umetne_inteligence.pdf (22. 11. 2022)
5. Tournois L, Lefèvre T. AI in forensic medicine for practicing doctor. In: Lidströmer N, Ashrafian H (eds.). *Artificial intelligence in medicine*. Cham 2022: Springer; 1777-1786.
6. Saukko P, Knight B. *Knight's forensic pathology* (4th ed.). Boca Raton 2015: CRC Press.
7. Han M, Du S, Ge Y, et al. With or without human interference for precise age estimation based on

- machine learning? *Int J Legal Med* 2022; 136(3): 821-831. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02796-z>
8. Cao Y, Ma Y, Vieira DN, et al. A potential method for sex estimation of human skeletons using deep learning and three-dimensional surface scanning. *Int J Legal Med* 2021; 135(6): 2409-2421. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02675-z>
 9. Wen H, Wu W, Fan F, et al. Human identification performed with skull's sphenoid sinus based on deep learning. *Int J Legal Med* 2022; 136(4): 1067-1074. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02761-2>
 10. Sharma R, Diksha, Bhute AR, Bastia BK. Application of artificial intelligence and machine learning technology for the prediction of postmortem interval: a systematic review of preclinical and clinical studies. *Forensic Sci Int* 2022; 340: 111473. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111473>
 11. Zheng J, Huo D, Wen H, Shang Q, Sun W, Xu Z. Corneal-Smart Phone: a novel method to intelligently estimate postmortem interval. *J Forensic Sci* 2021; 66(1): 356-364. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14611>
 12. Homma N, Zhang X, Qureshi A, et al. A Deep learning aided drowning diagnosis for forensic investigations using post-mortem lung ct images. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2020; 2020: 1262-1265. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9175731>
 13. Zhang J, Zhou Y, Vieira DN, et al. An efficient method for building a database of diatom populations for drowning site inference using a deep learning algorithm. *Int J Legal Med* 2021; 135(3): 817-827. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02497-5>
 14. Yu W, Xue Y, Knoops R, et al. Automated diatom searching in the digital scanning electron microscopy images of drowning cases using the deep neural networks. *Int J Legal Med* 2021; 135(2): 497-508. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02392-z>
 15. Oura P, Junno A, Junno JA. Deep learning in forensic gunshot wound interpretation-a proof-of-concept study. *Int J Legal Med* 2021; 135(5): 2101-2106. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02566-3>
 16. Tirado J, Mauricio D. Bruise dating using deep learning. *J Forensic Sci* 2021; 66(1): 336-346. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14578>
 17. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, et al. Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI): a feasibility study. *J Forensic Sci* 2003; 48(2): 386-403.
 18. Thali MJ, Braun M, Buck U, et al. VIRTOPSY: scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *J Forensic Sci* 2005; 50(2): 428-442.
 19. Aghayev E, Staub L, Dirnhofer R, et al. Virtopsy - the concept of a centralized database in forensic medicine for analysis and comparison of radiological and autopsy data. *J Forensic Leg Med* 2008; 15(3): 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2007.07.005>
 20. Lefèvre T. Artificial intelligence in forensic medicine. In: Lidströmer N, Ashrafian H (eds.). *Artificial Intelligence in Medicine*. Cham 2022: Springer; 1767-1773.