STUDIA PRAWNICZE. Rozprawy i Materiały 2025, nr 2 (37)
STUDIES IN LAW: Research Papers 2025, No. 2 (37)
e-ISSN 2451-0807 • ISSN 1689-8052
DOI: 10.48269/2451-0807-sp-2025-1-03

Milena Orzeł [A–D]
lek., Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
orcid.org/0009-0005-1303-2778
milenadudek@op.pl

Bartłomiej Orzeł [D–F]
lek. mgr inż., Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Politechnika Wrocławska
orcid.org/0009-0003-1442-6790
bartekorzel@wp.pl

Maria Myślicka [B–C]
lek., Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
orcid.org/0009-0000-6190-9128
mariamyslicka38@gmail.com

Karina Lissak [A–B]
lek., Dolnośląskie Centrum Onkologii we Wrocławiu
orcid.org/0009-0000-9084-4060
karina.lis2323@gmail.com

Klaudia Włodarczyk [B–C]
lek., Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
orcid.org/0009-0002-0779-8564
wlodarczyk.klaudia1@gmail.com

Martyna Brzoza [D–F]
lek. dent., Centralny Szpital Kliniczny Uniwersytetu Medycznego w Łodzi
orcid.org/0009-0004-8975-4462
martynabrzoza2908@gmail.com

Barbara Buras [B, D–E]
lek. dent., „Amerident" NSZOZ s.c. Maria i Łazarz Legień
orcid.org/0009-0008-9914-507X
babu.buras@gmail.com

Wiktoria Józefowicz [C–E]
lek., Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
orcid.org/0009-0004-7530-1710
wiktoria.jozefowicz10@gmail.com

Julia Stawińska-Dudek [A–B, E]
lek. dent., Ortho.pl, Ortodonta Zdrowego Uśmiechu Dzieci i Dorosłych
orcid.org/0009-0008-1677-3741
stawinskajulia1@gmail.com

Ali Aboud C–D, F
lek. dent., Medical Innovation Centre
orcid.org/0009-0004-8485-9302
aliaboud1999r@gmail.com

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych, D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Autor do korespondencji
Bartłomiej Orzeł, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Wydział Lekarski, wyb. L. Pasteura 1, 50–367 Wrocław, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, pl. Grunwaldzki 11, 50–384 Wrocław, email: bartekorzel@wp.pl

Możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w medycynie sądowej i kryminalistyce – przegląd

Wstęp

Sztuczna inteligencja (AI, *artificial intelligence*) jest coraz bardziej obecna w wielu dziedzinach naszego życia. Z jej pomocy możemy skorzystać m.in. w smartfonach, komputerach czy sprzętach codziennego użytku. Jednym z popularniejszych narzędzi opartym na sztucznej inteligencji jest ChatGPT. Dzięki temu, że sztuczna inteligencja stale się rozwija, wykorzystuje się ją w coraz większej liczbie dziedzin, w tym w medycynie.

W każdej specjalizacji medycznej można wykorzystać technologię sztucznej inteligencji w inny sposób. Nie inaczej jest z medycyną sądową i kryminalistyką. Skuteczność zastosowania sztucznej inteligencji w dużej mierze zależy od danych zawartych w bazie. Im więcej danych, tym lepsze wyniki można uzyskać. Największą trudnością jest „uczenie" sztucznej inteligencji, a dokładniej – wskazanie, w jakim kierunku ma wykorzystywać wcześniejsze badania i wyniki. W przypadku działań i zachowań przestępców można mówić o analogiach i podobieństwach, dlatego też na podstawie analizy porównawczej można wysnuwać trafne wnioski. Sztuczna inteligencja

działa znacznie szybciej niż specjalista z doświadczeniem, który fizycznie nie jest w stanie zapamiętać i przeszukać wszystkich informacji na dany temat.

Medycyna sądowa jest wykorzystywana w dochodzeniu przyczyn zgonów czy urazów, badania dowodów zbrodni, a także osób żyjących, które brały udział w przestępstwach seksualnych. Dzięki różnorodnym metodom wykorzystywanym w kryminalistyce możliwe staje się określenie takich danych jak wiek i płeć w odniesieniu do niezidentyfikowanych osób[1]. Warto pamiętać o znanym w kryminalistyce powiedzeniu, że nie ma zbrodni doskonałej, a każdy przestępca zostawia ślad. Celem pracy jest przedstawienie możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w medycynie sądowej i kryminalistyce.

Sekcja zwłok

Sekcja zwłok to podstawowe badanie pośmiertne wykonywane przez specjalnie przeszkolonych techników oraz lekarzy medycyny sądowej. Podczas oględzin denata należy zbadać wiele elementów, aby wydać właściwą opinię. Początkowo należy potwierdzić tożsamość denata (i wstępnie wzrokowo ocenić zewnętrzne nietypowe ślady na całym ciele). Następnie specjalista określa ich charakter i możliwą przyczynę powstania, a także zwraca uwagę na umiejscowienie plam opadowych oraz porównuje je z układem zwłok w miejscu zdarzenia. W trakcie samej sekcji zwłok ocenia organy wewnętrzne oraz pobiera materiał i płyny ustrojowe celem wykonania badań biochemicznych i toksykologicznych. Przy badaniu wewnętrznym ciała jest spora szansa na wykrycie patologii, które mogły być przyczyną śmierci. Istotne podczas sekcji zwłok jest określenie płci, które wnosi dużo informacji na temat różnic anatomicznych oraz fizjologii człowieka. Pozwala na ocenę możliwych zachowań lub odruchów przy obecności zagrożenia *etc*. Przy identyfikacji

[1] K. Alkass, B.A. Buchholz, S. Ohtani, T. Yamamoto, H. Druid, K.L. Spalding, *Age estimation in forensic sciences: Application of combined aspartic acid racemization and radiocarbon analysis*, „Mol Cell Proteomics" 2010, vol. 9, no. 5, s. 1022–1030.

płci można również wykorzystać antagonizmy w stężeniu różnych hormonów.

Innym przykładem może być identyfikacja obrażeń według mechanizmu działania. Sztuczna inteligencja mogłaby oszacować na podstawie zdjęć rentgenowskich, czy np. doszło do maltretowania i uszkodzenia ciała u dzieci. W ten sposób można by powstrzymać lub przynajmniej ograniczyć znęcanie się nad bezbronnymi, najmłodszymi ludźmi. Analogicznie może to być pomocna technologia do szacowania obrażeń powypadkowych u pacjentów i poszkodowanych w wypadkach. Sztuczna inteligencja mogłaby pomóc w wykrywaniu skomplikowanych urazów kości. Ponadto mogłaby wskazać drobne, ledwo widoczne uszkodzenia, które nawet specjalista może przeoczyć. Wdrożenie programów opartych na sztucznej inteligencji (tak jak w przypadku innych technologii) wymagałoby oczywiście kontroli specjalisty, ale byłoby to jednak duże wsparcie.

Należy podkreślić, że sztuczna inteligencja już bierze udział w identyfikacji osób, np. jest używana do wyszukiwania odpowiednich dowodów, które później są wykorzystywane na drodze sądowej[2]. Jej zastosowanie może sprowadzać się do badania zwłok lub identyfikacji obrażeń albo do określenia za pomocą jakiego przedmiotu popełniono przestępstwo czy też wskazania prawdopodobnej daty i godziny zdarzenia, a nawet określenia przyczyny śmierci[3]. Porównując wyniki, określałaby współistniejące choroby, a dzięki identyfikacji twarzy za pomocą rysów i jej analizy z dostępną bazą danych – wskazywałaby ofiarę i przestępcę[4].

---

[2] A.I. Piraianu, A. Fulga, C.L. Musat, O.R. Ciobotaru, D.G. Poalelungi, E. Stamate, O. Ciobotaru, I. Fulga, *Enhancing the evidence with algorithms: How artificial intelligence is transforming forensic medicine*, „Diagnostics (Basel)" 2023, vol. 13, no. 18, 2992.

[3] M.T. Mapundu, Ch.W. Kabudula, E. Musenge, V. Olago, T. Celik, *Performance evaluation of machine learning and Computer Coded Verbal Autopsy (CCVA) algorithms for cause of death determination: A comparative analysis of data from rural South Africa*, „Frontiers in Public Health" 2022, vol. 10, 990838.

[4] A. Thurzo, H. Svobodová Kosnáčová, V. Kurilová, S. Kosmeľ, R. Beňuš, N. Moravanský, P. Kováč, K. Mikuš Kuracinová, M. Palkovič, I. Varga, *Use of advanced artificial intelligence in forensic medicine, forensic anthropology and clinical anatomy*, „Healthcare" 2021, vol. 9, no. 11, 1545.

Daktyloskopia

W celu skuteczniejszej identyfikacji sprawców przestępstw na podstawie śladów pozostawionych na miejscu zdarzenia tworzone są obszerne bazy danych wrażliwych dotyczących przestępców, ale także zwykłych obywateli. Najbardziej reprezentatywnym przykładem są odciski linii papilarnych palców dłoni, które w kryminalistyce są bardzo cennym materiałem, gdyż każdy człowiek ma indywidualny wzór odcisków. Początkowo odciski były pobierane podczas interwencji policji przy aresztowaniu potencjalnego przestępcy. Aktualnie każdy obywatel wyrabiając podstawowe dokumenty osobiste, jest zobowiązany do uzupełnienia bazy danych o własne odciski palców. Zebrane w ten sposób dane są przechowywane w specjalnie utworzonym Automatycznym Systemie Identyfikacji Daktyloskopijnej. Przy tak ogromnej ilości danych i materiałów sztuczna inteligencja znacznie ułatwia pracę biegłym lekarzom sądowym i funkcjonariuszom policji.

Balistyka

Z uwagi na wartość merytoryczną dla medycyny sądowej i kryminalistyki mikroskopijne ślady, które pozostawia wystrzelony pocisk, porównuje się do odcisków palców[5]. Wprawiony technik na podstawie takich śladów oceni i określi rodzaj naboju, kaliber, a nawet z jakiej dokładnie broni był wystrzał. Sztuczna inteligencja może ułatwić identyfikację pozostawionego prochu oraz łusek, porównując je w odpowiedniej bazie danych zawierającej parametry techniczne. Obecnie istnieją algorytmy, które umożliwiają identyfikację klasy oraz kalibru broni[6].

---

5 M.J. Daniel, A. Pazhani, *Accuracy of bite mark analysis from food substances: A comparative study*, „Journal of Forensic Dental Sciences" 2015, vol. 7, no. 3, s. 222–226.

6 R. Nijhawan, S.A. Ansari, S. Kumar, F. Alassery, S.M. El-Kenawy, *Gun identification from gunshot audios for secure public places using transformer learning*, „Scientifics Report" 2022, vol. 12, 13300.

DNA

Inną ważną bazą jest baza danych DNA. Dzięki sztucznej inteligencji i komputeryzacji porównywanie materiału genetycznego jest znacznie szybsze i dokładniejsze. Nie wymaga pracy wielu genetyków i ogromnych nakładów finansowych. Wykorzystanie tej technologii i uzyskanie pasujących wyników jest najczęściej niepodważalnym dowodem. Ma to ogromną wartość dla całej medycyny sądowej i kryminalistyki.

Kiedy stan ciała denata jest dobry, wówczas weryfikacja płci może odbyć się za pomocą oceny narządów płciowych zewnętrznych, natomiast przy znacznym rozkładzie zazwyczaj wykorzystuje się do weryfikacji płci trwalszy materiał, jakim jest układ szkieletowy. Zawarte w nim komórki z zachowanym DNA są dalej wartościowym materiałem diagnostycznym. Podczas tego testu można szybko ocenić płeć, weryfikując obecność chromosomu Y, który jest charakterystyczny dla mężczyzn[7]. Analogicznie przy jego braku i przy obecności chromatyny płciowej X, znanej również ciałkiem Barra, można zidentyfikować płeć żeńską[8]. Inne kombinacje mogą informować specjalistów o wrodzonych wadach genetycznych osoby, której pobrano materiał genetyczny DNA.

Inna metoda oparta na DNA to ocena mitochondrialnego DNA[9]. Dzięki temu kolistemu materiałowi genetycznemu zawartemu w macierzy mitochondrialnej można uzyskać informację o dziedziczeniu w linii matczynej[10]. W ten sposób można ustalić pokrewień-

---

7 A. Cīrulis, B. Hansson, J.K. Abbott, *Sex-limited chromosomes and non-reproductive traits*, „BMC Biology" 2022, vol. 20, 156.

8 A. Lakshmi, A. James, R. Annasamy, R. Krishnan, *Determination of Barr bodies in transgender patients in India – A comparative study*, „Journal of Oral Maxillofacial Pathology" 2023, vol. 27, no. 4, s. 674–678.

9 C. Yan, X. Duanmu, L. Zeng, B. Liu, Z. Song, *Mitochondrial DNA: Distribution, mutations, and elimination*, „Cells" 2019, vol. 8, no. 4, 379; P. David, C. Degletagne, N. Saclier, A. Jennan, P. Jarne, S. Plénet, L. Konecny, C. François, L. Guéguen, N. Garcia, T. Lefébure, E. Luquet, *Extreme mitochondrial DNA divergence underlies genetic conflict over sex determination*, „Current Biology" 2022, vol. 32, no. 10, s. 2325–2333.

10 W. Zou, J. Slone, Y. Cao, T. Huang, *Mitochondria and their role in human reproduction*, „DNA and Cell Biology" 2020, vol. 29, no. 8, s. 1370–1378.

stwo lub przynależność do grupy społecznej bądź etnicznej. Mogą to być dodatkowe dane wykorzystywane w medycynie sądowej i kryminalistyce.

Stomatologia sądowa

Osobną dziedziną wykorzystywaną w medycynie sądowej i kryminalistyce jest stomatologia sądowa. Informacje na temat uzębienia są niezwykle wartościowe z tego względu, że zęby posiadają indywidualne cechy i na ich podstawie można identyfikować ofiary i sprawców[11]. Identyfikację tożsamości denata z wykorzystaniem wiedzy o jego uzębieniu zazwyczaj podejmuje się, gdy inne metody nie są możliwe do zastosowania, np. w przypadku znacznego okaleczenia czy rozkładu ciała lub też przemieszania szczątków ludzkich w wypadkach czy masowych katastrofach[12].

Należy zauważyć, że jeśli chodzi o anatomię człowieka zęby należą do najbardziej trwałych tworów. Często pozostają dobrze zachowane, nawet gdy ciało uległo zniszczeniu w pożarze lub na skutek działania mechanicznych sił niszczących. Zęby mogą zachować dobry stan nawet kilka tysięcy lat. Na taką trwałość zębów wpływa obecność szkliwa, które jako warstwa nieorganiczna (składa się aż w 96–98% z kryształów dihydroksyapatytu, czyli materiału nieorganicznego) chroni zęby nawet po śmierci człowieka[13]. Głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za uszkodzenia zębów są niewłaściwa dieta i zła higiena jamy ustnej[14]. Bakterie bytujące w początkowym odcinku układu pokarmowego są odpowiedzialne za

---

[11] S.B. Khanagar, S. Vishwanathaiah, S. Naik, A.A. Al-Kheraif, D.D. Divakar, S.C. Sarode, S. Bhandi, S. Patil, *Application and performance of artificial intelligence technology in forensic odontology – A systematic review*, „Leg Med (Tokyo)" 2021, no. 48, 101826.

[12] S. Matsuda, T. Miyamoto, H. Yoshimura, T. Hasegawa, *Personal identification with orthopantomography using simple convolutional neural networks: a preliminary study*, „Scientifics Report" 2020, no. 10, 13559.

[13] A. Gil-Bona, F.B. Bidlack, *Tooth enamel and its dynamic protein matrix*, „International Journal of Molecular Sciences" 2020, vol. 21, no. 12, 4458.

[14] K. Ghods, A. Azizi, A. Jafari, K. Ghods, *Application of artificial intelligence in clinical dentistry, a comprehensive review of literature*, „Journal of Dentistry (Shiraz)" 2023, vol. 24, no. 4, s. 356–371.

powstawanie próchnicy na zębach. Rozkładają one cukry proste do kwasów karboksylowych, które są głównie odpowiedzialne za niszczenie uzębienia. Im zęby są lepiej zachowane, tym są bardziej wartościowym materiałem w badaniach kryminalistycznych. Kolejnym pomocnym narzędziem w kryminalistyce mogą być bazy danych uzębienia ludzi oparte na zdjęciach rentgenowskich lub tomografii komputerowej[15].

Jeśli chodzi o wykorzystanie cech uzębienia do identyfikacji to nawet tak prosta informacja jak ocena stopnia starcia zębów jest istotna. Ponadto sprawdzana jest obecność braków zębowych czy ósemek. Istotne są zwyrodnienia kości szczękowej i żuchwy, resorpcja i pęknięcia korzeni zębowych, przezierność zębiny korzeniowej, obecność zębiny wtórnej czy porównanie liczby zębów mlecznych i stałych[16]. Za pomocą wykonanych zdjęć rentgenowskich lub tomografii komputerowej i sztucznej inteligencji możliwe jest porównanie odpowiednich cech zębów[17].

Należy wspomnieć, że dzięki zębom możliwe jest określenie różnic we wzroście i rozwoju młodego człowieka. Już sama rozbieżność liczbowa między zębami stałymi oraz mlecznymi daje bardzo dużo

---

[15] A. Heinrich, F. Güttler, S. Wendt, S. Schenkl, M. Hubig, R. Wagner, G. Mall, U. Teichgräber, *Forensic odontology: Automatic identification of persons comparing antemortem and postmortem panoramic radiographs using computer vision*, „RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin" 2018, vol. 119, no. 2, s. 1152–1158; N. Eto, J. Yamazoe, A. Tsuji, N. Wada, N. Ikeda, *Development of an artificial intelligence-based algorithm to classify images acquired with an intraoral scanner of individual molar teeth into three categories*, „PLoS One" 2022, vol. 17, no. 1, e0261870; A. Dhopte, H. Bagde, *Smart smile: Revolutionizing dentistry with artificial intelligence*, „Cureus" 2023, vol. 15, no. 6, e41227.

[16] A.B. Márquez-Ruiz, M.C. Treviño-Tijerina, L. González-Herrera, B. Sánchez, A.R. González-Ramírez, A. Valenzuela, *Three-dimensional analysis of third molar development to estimate age of majority*, „Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society" 2017, vol. 5, no. 5, s. 376–383; S. Bommannavar, M. Kulkarni, *Comparative study of age estimation using dentinal translucency by digital and conventional methods*, „Journal of Forensic Dental Science" 2015, vol. 71, no. 1, s. 71–75.

[17] D. Milošević, M. Vodanović, I. Galić, M. Subašić, *Automated estimation of chronological age from panoramic dental X-ray images using deep learning*, „Expert Systems with Applications" 2022, vol. 189, no. 1, 116038.

informacji na temat wieku i rozwoju. U dorosłych także wykorzystywane są kości i uzębienie. Dlatego dodatkową informacją są zabiegi stomatologiczne stosowane w przeszłości (obecność wypełnień, koron, implantów czy mostków tytanowych). Wspomniane dane dostarczają informacji o stylu życia danej osoby oraz zachowaniach związanych z higieną osobistą jamy ustnej. Można wywnioskować status społeczny, poziom zamożności czy dostępność do opieki stomatologicznej.

W przypadku baz uzębienia wykorzystujących sztuczną inteligencję trafna identyfikacja byłaby równie szybka jak ta daktyloskopijna. Analogicznie wyglądałaby sytuacja, w której sztuczna inteligencja mogłaby porównywać ślady ugryzień[18]. Innym zastosowaniem sztucznej inteligencji może być generowanie modelu trójwymiarowego zębów, szczęki lub żuchwy[19]. Takie metody są już wykorzystywane do rekonstrukcji twarzy i wyglądu danej osoby[20]. Mając jedynie szczątki człowieka, sztuczna inteligencja prezentowałaby potencjalny wygląd twarzoczaszki. Takie metody stosuje się w przypadku kości z grobowców królów, faraonów *etc*. Wiele spraw wciąż pozostaje niewyjaśnionych, a zatem zastosowanie nowych technik opartych na sztucznej inteligencji mogłoby doprowadzić do ich zamknięcia[21].

Identyfikacja wieku

Identyfikacja wieku ofiary lub przestępcy jest bardzo istotna w kryminalistyce i medycynie sądowej. Szczególnie jest ona ważna, gdy

---

18 P. Agrawal, P. Nikhade, *Artificial intelligence in dentistry: Past, present, and future*, „Cureus" 2022, vol. 14, no. 7, e27405.

19 P. Amrollahi, B. Shah, A. Seifi, L. Tayebi, *Review Recent advancements in regenerative dentistry: A review*, „Material Science & Engineering. C. Materials for Biological Applications" 2016, vol. 69, s. 1383–1390.

20 H. Eliášová, T. Dostálová, *3D Multislice and Cone-beam Computed Tomography Systems for Dental Identification*, „Prague Medical Report" 2017, vol. 118, no. 1, s. 14–25.

21 S.B. Khanagar, A. Al-Ehaideb, P.C. Maganur, S. Vishwanathaiah, S. Patil, H.A. Baeshen, S.C. Sarode, S. Bhandi, *Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review*, „Journal of Dental Sciences" 2021, vol. 16, no. 1, s. 508–522.

mamy do czynienia ze szczątkami osób[22]. Pozwala na wstępne rozdzielenie ciał na grupy uszeregowane względem wieku. Dalsze badania umożliwiają dokładniejszą identyfikację konkretnych osób. Takie sytuacje mają miejsce np. w przypadku katastrof masowych. Wówczas identyfikacja ofiar jest bardzo trudna. W przypadku osób nieletnich stosowana jest antropologia sądowa i omawiana już stomatologia. W celu oceny wieku porównywane są takie elementy jak wielkość kości, zużycie chrząstek pokrywających głowę kości, obecność stożków wzrostu bądź zmiany zwyrodnieniowe[23]. Niestety u starszych osób metoda ta nie jest tak dokładna. Dlatego z pomocą przychodzi biochemia i badanie zmian związanych ze starzeniem fizjologicznym u ludzi, choć taka metoda ma też wady i nie daje kompletnych odpowiedzi w kryminalistyce.

Należy wspomnieć, że precyzyjne określenie wieku danej osoby jest dość skomplikowanym procesem. Oczekuje się, że metoda badawcza będzie dokładna i niezawodna. Powinna również dać wyniki w określonym, możliwie jak najkrótszym terminie. Strata zbyt dużej ilości czasu zwiększa szansę przestępcy na uniknięcie kary. Innym dość znanym podejściem antropologów sądowych jest ocena spojenia łonowego, końca żeber mostka, małżowin usznych, stopnia zarośnięcia szwów czaszkowych i uzębienia[24]. Wykorzystanie zdjęć rentgenowskich i tomografii komputerowej daje ogólny obraz kośćca całego człowieka[25]. Takie informacje pozwalają określić

---

22 E. Cunha, *Aging the death: The importance of having better methods for age at death estimation of old individuals*, „Annals of Medicine" 2021, vol. 52, suppl. 1, s. S1.

23 M. San-Millán, C. Rissech, *Inter-population differences in acetabular senescence: Relevance in age-at-death estimation*, „International Journal of Legal Medicine" 2023, vol. 137, s. 701–719.

24 J. Adserias-Garriga, S.C. Zapico, *Age assessment in forensic cases: anthropological, odontological and biochemical methods for age estimation in the dead*, „Mathews Journal of Forensic Research" 2018, vol. 1, issue 1, 001.

25 V. Warrier, T. Kanchan, R. Shedge, K. Krishan, S. Singh, *Computed tomographic age estimation from the pubic symphysis using the Suchey-Brooks method: A systematic review and meta-analysis*, „Forensic Science International" 2021, 110811; N.J.M. Akbar, R.S. Shekhawat, T. Kanchan, T. Yadav, V.P. Meshram, R. Shedge, S.R. Vempalli, P. Setia, *Computed tomographic evaluation of cranial suture obliteration for age estimation in an Indian population*, „Cureus" 2023, vol. 15, no. 3, e36160; S. Mays, *The effect of factors other than age upon*

rozwój układu kostnego, a nawet obrazują obecność zwyrodnień nabytych. Pomaga to w ocenie kształtu twarzy, charakterystycznych rysów czy zmarszczeń. Dane tego typu są również istotne przy ocenie wieku. Celem uzyskania jak najlepszego wyniku należałoby zastosować nie jedną, ale kilka metod. W ten sposób można zwiększyć dokładność i wiarygodność badań w znacznie szybszym czasie.

Badania mikrobiologiczne

Do mikroorganizmów zalicza się bakterie, wirusy, grzyby oraz pierwotniaki, a do obserwacji większości z nich potrzebny jest specjalistyczny sprzęt. Mikroorganizmy są obecne w ludzkim organizmie, a każdy człowiek posiada swój indywidualny mikrobiom[26]. Różnice w mikrobiomie mogą być wykorzystane do identyfikacji poszczególnych osób. Co istotne, mikrobiom może przetrwać długi czas nawet w niesprzyjających warunkach, a pozostawione na miejscu zbrodni ślady biologiczne stanowią ważny materiał dowodowy w sprawie. Wykazano w literaturze, że próbki zabezpieczone z pomieszczeń nawet po 30 dniach zawierały sygnaturę mikrobiologiczną i dalej był to wartościowy materiał do wykorzystania w procesie identyfikacyjnym[27].

Charakterystyczną i indywidualną florę bakteryjną oraz mikrobiom wyróżniamy w jelicie, jamie ustnej, kanałach słuchowych, okolicach genitaliów czy na skórze[28]. Dokładniejsze badania, wykorzystujące posiewy mikrobiologiczne, pokazały, że w ślinie, na skórze

---

skeletal age indicators in the adult, „Annals of Human Biology" 2015, vol. 42, no. 4, s. 332–341.

26 S.E. Schmedes, A.E. Woerner, N.M.M. Novroski, F.R. Wendt, J.L. King, K.M. Stephens, B. Budowle, *Targeted sequencing of clade-specific markers from skin microbiomes for forensic human identification*, „Forensic Science International. Genetics" 2018, vol. 32, s. 50–61.

27 H. Deel, A.L. Emmons, J. Kiely, F.E. Damann, D.O. Carter, A. Lynne, R. Knight, Z. Zech Xu, S. Bucheli, J.L. Metcalf, *A pilot study of microbial succession in human rib skeletal remains during terrestrial decomposition*, „mSphere" 2021, vol. 6, no. 4, e0045521.

28 J. Adserias-Garriga, N.M. Quijada, M. Hernandez, D.R. Lázaro, D. Steadman, L.J. Garcia-Gil, *Dynamics of the oral microbiota as a tool to estimate time since death*, „Molecular Oral Microbiology" 2017, vol. 32, no. 6, s. 511–516.

i w nasieniu wykryto takie bakterie jak *Propionibacterium*, *Prevotella* oraz *Bacteroides*, natomiast w pochwie i we krwi menstruacyjnej wykazano *Lactobacillus*[29]. Są badania sugerujące, że wiele chorób w organizmie człowieka bierze się z nietypowej lub zachwianej flory bakteryjnej i mikrobiomu. Głównie bierze się tu pod uwagę florę bakteryjną i mikrobiom jelita cienkiego oraz jelita grubego[30].

Należy też zaznaczyć, że obecność części patogenów jest związana z wiekiem: inne bakterie bytują na ciele dziecka, nastolatka, dorosłego, a inne u osoby starszej. Co interesujące, w medycynie sądowej wyróżnia się konkretne patogeny, których obecność w okolicy genitaliów u dzieci jest potwierdzeniem wykorzystywania seksualnego.

W przypadku kobiet różnice w mikrobiomie związane z wiekiem wynikają już z samej zmienności pH śluzu pochwowego w różnych etapach życia[31]. Podobnie może wyglądać sytuacja w innych miejscach ciała człowieka. W badaniach udowodniono, że mikroorganizmy znajdujące się w ślinie znacząco różnią się między ludźmi. Ogromny wpływ jakościowy i ilościowy na mikrobiom ma higiena jamy ustnej oraz stosowana dieta[32]. Popularność metagenomiki i analizy mikrobiomu zwiększa się dzięki rozwijającej się metodzie sekwencjonowania genomu[33]. Połączenie badania mikrobiomu

---

29 Q. He, X. Niu, R.-Q. Qi, M. Liu, *Advances in microbial metagenomics and artificial intelligence analysis in forensic identification*, „Frontiers in Microbiology" 2022, vol. 13, 1046733; W.J.Y. Chee, S.Y. Chew, L.T.L. Than, *Vaginal microbiota and the potential of Lactobacillus derivatives in maintaining vaginal health*, „Microbial Cell Factories" 2020, vol. 19, 203.

30 C.D. López, A. Vidaki, A. Ralf, D.M. González, D. Radjabzadeh, R. Kraaij, A.G. Uitterlinden, C. Haas, O. Lao, M. Kayser, *Novel taxonomy-independent deep learning microbiome approach allows for accurate classification of different forensically relevant human epithelial materials*, „Forensic Science International. Genetics" 2019, vol. 41, s. 72–82.

31 K. Godha, K.M. Tucker, C. Biehl, D.F. Archer, S. Mirkin, *Human vaginal pH and microbiota: an update*, „Gynecological Endocrinology: The Official Journal of the International Society of Gynecological Endocrinology" 2018, vol. 24, no. 6, s. 451–455.

32 K. Dong, Y. Xin, F. Cao, Z. Huang, J. Sun, M. Peng, W. Liu, P. Shi, *Succession of oral microbiota community as a tool to estimate postmortem interval*, „Scientific Reports" 2019, vol. 9, 13063.

33 E.A. Franzosa, K. Huang, J.F. Meadow, D. Gevers, K.P. Lemon, B.J.M. Bohannan, C. Huttenhower, *Identifying personal microbiomes using metagenomic*

oraz sztucznej inteligencji jest w fazie wstępnej, wymaga dalszych udoskonaleń oraz znacznych nakładów finansowych. Jednak zaawansowane badanie różnic mikrobiomu przyczyni się do uzyskiwania większej ilości pobranych informacji z miejsc zbrodni, co może znacząco ułatwić proces identyfikacji ofiary i przestępcy.

Toksykologia

Aktualnie dużym problemem przy ocenie toksykologicznej jest właściwe rozpoznanie analizowanego materiału. Wiąże się to z rozpowszechnianiem niestandardowych mieszanek substancji psychoaktywnych, które są wytwarzane w ten sposób, żeby z jednej strony mogły maksymalnie odurzyć człowieka, a z drugiej żeby nie można ich w prosty sposób zakwalifikować na listę substancji zakazanych. W przypadku zatrucia organizmu mieszanką o nieznanym, trudno rozpoznawalnym składzie specjaliści w szpitalnych oddziałach ratunkowych napotykają na ogromne trudności, żeby wdrożyć skuteczną detoksykację.

Wykorzystanie sztucznej inteligencji do rozpoznawania składu mieszanek wydaje się więc w przyszłości niezbędne. Program oparty na sztucznej inteligencji wykorzystujący informację o substancjach psychoaktywnych, toksynach, lekach i innych substancjach mógłby dużo precyzyjniej identyfikować zagrożenia, a tym samym wskazywać skuteczne metody detoksykacji.

Metody, które są wykorzystywane do takiej analizy to m.in.: spektrofotometria, dzięki której określa się w pomiarze ilość odbitego lub przechodzącego przez próbkę światła (w ten sposób uzyskuje się informację o obecności, a nawet o stężeniu procentowym lub molowym substancji) czy chromatografia, której zasadą jest rozdział mieszaniny i określenie składu związków chemicznych w badanej próbce[34]. Techniki te są bardzo dobrze rozwinięte, ale są podatne na

codes, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA" 2015, vol. 112, no. 22, e-2930–e2938.

[34] N. Shima, K. Sasaki, T. Kamata, A. Miki, M. Katagi, [*Hair testing for drugs in the field of forensics*], „Yakugaku Zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society in Japan" 2019, vol. 139, no. 5, s. 705–713; Y. McAvoy, B. Bäckström,

błąd ludzki, co może skutkować błędną analizą próbek. Inną istotną poszlaką w medycynie sądowej i kryminalistyce jest poszukiwanie różnych złamań lub stanów zapalnych, które powstały na skutek działania uszkodzeń mechanicznych, trucizn albo innych związków chemicznych[35]. Podobnie wygląda sprawa z płynami ustrojowymi. Bardzo często na ciele denata pojawiają się substancje pochodzące od potencjalnego przestępcy. Przykładem mogą być plamy krwi, nasienia czy śluzu pochwowego. Cenny materiał dowodowy znajduje się często pod paznokciami (naskórek oprawcy)[36].

Czas zgonu

Jedną z najważniejszych kwestii w medycynie sądowej i kryminalistyce jest określenie czasu zgonu. Jest to również obszar, w którym wykorzystanie sztucznej inteligencji poprawiłoby precyzję i szybkość oceny. Do ustalenia czasu zgonu stosuje się różne metody, np. czas zgonu można ocenić dzięki podbiegnięciom krwawym lub wybroczynom, których zabarwienie zmienia się w ciągu kilkunastu dni. Przechodzą one przez proces gojenia, podczas którego zmieniają zabarwienie, a dzieje się tak z uwagi na degradację hemoglobiny: początkowo kolor podbiegnięcia krwawego jest czerwony, później staje się fioletowoniebieski (co określane jest jako sinieć, a potocznie i błędnie nazywane siniakiem), następnie przechodzi w kolor zielonkawy przez rozpad pierścienia porfirynowego hemu do biliwerdyny, kolejnym etapem jest zmiana barwy sińca na brązową, z uwagi na obecność bilirubiny, a w wyniku nagromadzenia pigmentu hemosyderyny finalnie staje się żółty i znika w przeciągu 10–14 dni. Istniejące sińce ocenia się makroskopowo. W ten sposób

K. Janhunen, A. Stewart, M.D. Cole, *Supercritical fluid chromatography in forensic science: A critical appraisal*, „Forensic Science International" 1999, vol. 99, no. 2, s. 107–122.

35 A. Guleria, K. Krishan, V. Sharma, T. Kanchan, *ChatGPT: Forensic, legal, and ethical issues*, „Medicine, Science and the Law" 2024, vol. 64, no. 2, s. 150–156.

36 M. Barash, D. McNevin, V. Fedorenko, P. Giverts, *Machine learning applications in forensic DNA profiling: A critical review*, „Forensic Science International. Genetics" 2024, vol. 69, 102994.

stwierdza się czas ich powstania. Wprowadzony algorytm sztucznej inteligencji może znacznie ułatwić ich identyfikację. Analizując spektrum barw określi w jakim dniu powstały[37]. Kolejnym sposobem do oceny czasu zgonu jest wykorzystywanie markerów biochemicznych takich jak dehydrogenaza mleczanowa, aminotransferaza asparaginianowa, triglicerydy, cholesterol czy określenie wartości pH[38]. Na marginesie rozważań o czasie zgonu należy wskazać, że sztuczna inteligencja mogłaby być wykorzystywana także do oceny czasu gwałtu w przypadku analizy męskiego nasienia. Długość życia plemników zależy od środowiska, w jakim się znajdują. Sprawy o gwałt są szczególnie kontrowersyjne, więc wyeliminowanie możliwości popełnienia błędu jest kluczowe.

Ostatecznie analiza wielu danych przez sztuczną inteligencję mogłaby prowadzić do wygenerowania rekonstrukcji przebiegu całego przestępstwa. Potencjalny program mający dostęp do różnego rodzaju baz danych i odpowiednich metod kryminologicznych mógłby z dużo większą łatwością niż człowiek formułować trafne hipotezy. Dużą zaletą byłoby wyeliminowanie kwestii subiektywnych odczuć i błędów poznawczych lekarzy medycyny sądowej. Należy jednak zaznaczyć, że nad całym procesem wciąż jest konieczny nadzór wysoko wykwalifikowanego specjalisty[39].

---

[37] K. Ren, L. Wang, Y. Wang, G. An, Q. Du, J. Cao, Q. Jin, K. Yun, Z. Guo, Y. Wang, Q. Liang, J. Sun, *Wound age estimation based on next-generation sequencing: Fitting the optimal index system using machine learning*, „Forensic Science International. Genetics" 2022, vol. 49, 102722; T. Kondo, Y. Ishida, *Molecular pathology of wound healing*, „Forensic Science International" 2010, vol. 203, no. 1–3, s. 93–98.

[38] K. Ramprabhu, S. Fatangare, *Survey on prediction of post mortem interval using artificial intelligence in forensic examination*, „International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)" 2020, vol. 7, issue 5, s. 5760–5764; M. Hachem, B.K. Sharma, *Artificial intelligence in prediction of postmortem interval (PMI) through blood biomarkers in forensic examination – a concept*, [w:] *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, Dubai, United Arab Emirates, 2019, s. 255–258.

[39] M. Kayser, *Forensic DNA phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes*, „Forensic Science International. Genetics" 2015, vol. 18, s. 33–48.

Wady używania AI

Zalety wykorzystywania sztucznej inteligencji były wymieniane punkt po punkcie przy omawianiu wyzwań związanych z danymi problemami badawczymi czy stosowanymi metodami. Sztuczna inteligencja ma jednak również wady, dotyczą one np. etyki, dyskryminacji czy bezpieczeństwa. Do dyskryminacji może dochodzić podczas weryfikacji danych na podstawie wcześniej wyuczonych zasad, co jest częstym zjawiskiem przy bardziej otwartych, niekontrolowanych bazach danych.

Im bardziej zasobna baza danych, tym większa jej wartość i cenny obszar do analizy dla sztucznej inteligencji. Należy jednak pamiętać, że baza danych o wysokiej wartości to także atrakcyjny cel ataków hakerów. Dostęp do dużej ilości danych wrażliwych i ich potencjalne wykorzystanie w celach przestępczych może okazać się katastrofalne.

Medycyna sądowa jest skomplikowaną dziedziną, w której wykorzystuje się wiele szczegółów; często dla postronnej osoby nieistotne drobiazgi okazują się kluczowe dla sprawy. Pominięcie z jakichś względów takich szczegółów przez sztuczną inteligencję może prowadzić do uzyskania fałszywych wyników. Bardzo żmudną i czasochłonną pracą jest napisanie podstawowych algorytmów, aby uniknąć późniejszych błędów. Udział specjalistów w weryfikacji wyników otrzymanych przez sztuczną inteligencję wydaje się konieczny.

Na koniec nie można też bagatelizować negatywnego wpływu sztucznej inteligencji na miejsca pracy. Niepokojąca jest wizja, że wysoko wykwalifikowani specjaliści, którzy przyczyniają się do poszerzania baz oraz wiedzy w dziedzinie kryminalistyki i medycyny sądowej w ten sposób budują potęgę sztucznej inteligencji, która potencjalnie mogłaby ich wyeliminować na pewnym etapie „postępu". Wraz z wprowadzeniem sztucznej inteligencji trzeba przemyśleć wszystkie wady i zalety oraz próbować usprawnić jej niedociągnięcia. Należy maksymalnie zminimalizować jej negatywne strony przez wprowadzenie odpowiednich systemów kontroli. Znacznie bezpieczniejsze jest założenie, że sztuczna inteligencja powinna być stosowana jako pomoc czy narzędzie kontrolne.

Wnioski

Możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w medycynie sądowej i kryminologii są bardzo szerokie. Potęguje to fakt, że można łączyć informacje z pozornie niezwiązanych dziedzin jak stomatologia, toksykologia czy mikrobiologia. Oceniając materiały uzyskane w badaniach obrazowych osób żywych lub denatów, mogłaby z powodzeniem wspomagać pracę biegłych sądowych podczas sekcji zwłok.

Porównanie zdjęć kostnych, sińców lub organów wewnętrznych ułatwi identyfikację wieku człowieka, godzinę uszkodzenia ciała, a nawet czas zgonu. Nie inaczej jest w przypadku technik związanych z daktyloskopią. Ogromna ilość materiału w połączeniu z komputeryzacją znacznie ułatwia pracę. Biorąc pod uwagę ocenę DNA, czyli materiału, który nie jest widoczny gołym okiem, komputeryzacja i sztuczna inteligencja wydają się rozwiązaniem najwygodniejszym. Podobnie w przypadku badań mikrobiologicznych, gdzie już dzisiaj aparatura w błyskawicznym tempie wskazuje, jakie bakterie są zawarte w próbce materiału. Analogicznie mieszanki substancji toksycznych nie są wyzwaniem dla skomputeryzowanych badań. Natomiast stomatologia z jej najtrwalszym i najlepiej zachowanym materiałem jest bazą ogromnych możliwości do wygenerowania obrazów przydatnych w identyfikacji.

Podsumowując, rozwój sztucznej inteligencji w omawianych obszarach wydaje się niezbędny, żeby ulepszyć metody oceny i kontroli pod czujnym okiem specjalistów z zakresu medycyny sądowej i kryminalistyki.

Bibliografia

Adserias-Garriga J., Quijada N.M., Hernandez M., Lázaro D.R., Steadman D., Garcia-Gil L.J., *Dynamics of the oral microbiota as a tool to estimate time since death*, „Molecular Oral Microbiology" 2017, vol. 32, no. 6, s. 511–516.

Adserias-Garriga J., Zapico S.C., *Age assessment in forensic cases: anthropological, odontological and biochemical methods for age estimation in the dead*, „Mathews Journal of Forensic Research" 2018, vol. 1, issue 1, 001.

Agrawal P., Nikhade P., *Artificial intelligence in dentistry: Past, present, and future*, „Cureus" 2022, vol. 14, no. 7, e27405.

Akbar N.J.M., Shekhawat R.S., Kanchan T., Yadav T., Meshram V.P., Shedge R., Vempalli S.R., Setia P., *Computed tomographic evaluation of cranial suture obliteration for age estimation in an Indian population*, „Cureus" 2023, vol. 15, no. 3, e36160.

Aldakhil S., Alkhurayji K., Albarrak S., Almihbash A., Aldalan R., Alshehri K., Alrusaini S., Asiri A., *Awareness and approaches regarding artificial intelligence in dentistry: A scoping review*, „Cureus" 2024, vol. 16, no. 1, e51825.

Alkass K., Buchholz B.A., Ohtani S., Yamamoto T., Druid H., Spalding K.L., *Age estimation in forensic sciences: Application of combined aspartic acid racemization and radiocarbon analysis*, „Mol Cell Proteomics" 2010, vol. 9, no. 5, s. 1022–1030.

Amrollahi P., Shah B., Seifi A., Tayebi L., *Recent advancements in regenerative dentistry: A review*, „Material Science & Engineering. C. Materials for Biological Applications" 2016, vol. 69, s. 1383–1390.

Angadi P.V., Hemani S., Prabhu S., Acharya A.B., *Analyses of odontometric sexual dimorphism and sex assessment accuracy on a large sample*, „Journal of Forensic Legal Medicine" 2013, vol. 20, no. 6, s. 673–677.

Baby D., John L., Changankary Pia J., Sreedevi P.V., Pattnaik S.J., Varkey A., Gupta S., *Role of robotics and Artificial Intelligence in oral health education. Knowledge, perception and attitude of dentists in India*, „Journal of Education and Health Promotion" 2023, vol. 12, no. 1, 384.

Baliram Singh R., Zhuang H., *Measurements, analysis, classification, and detection of gunshot and gunshot-like sounds*, „Sensors" 2022, vol. 22, no. 23, 9170.

Barash M., McNevin D., Fedorenko V., Giverts P., *Machine learning applications in forensic DNA profiling: A critical review*, „Forensic Science International. Genetics" 2024, vol. 69, 102994.

Baud F.J., Houzé P., *Introduction to clinical toxicology*, [w:] *An introduction to interdisciplinary toxicology*, eds C.N. Pope, J. Liu, 2020, s. 413–428.

Bommannavar S., Kulkarni M., *Comparative study of age estimation using dentinal translucency by digital and conventional methods*, „Journal of Forensic Dental Science" 2015, vol. 71, no. 1, s. 71–75.

Boreak N., *Effectiveness of Artificial Intelligence applications designed for endodontic diagnosis, decision-making, and prediction of prognosis: A systematic review*, „The Journal of Contemporary Dental Practice" 2020, vol. 27, no. 1, s. 926–934.

Brkic H., Milicevic M., Petrovecki M., *Forensic determination of dental age of adults*, „Acta Stomatologica Croatica" 2008, vol. 42, no. 3, s. 267–272.

Cameriere R., De Luca S., De Angelis D., Merelli V., Giuliodori A., Cingolani M., Cattaneo C., Ferrante L., *Reliability of Schmeling's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects*, „International Journal of Legal Medicine" 2012, vol. 126, no. 6, s. 923–932.

Cao Y., Ma Y., Vieira D.N., Guo Y., Wang Y., Deng K., Chen Y., Zhang J., Qin Z., Chen F., Huang P., Zhang J., *A potential method for sex estimation of human skeletons using deep learning and three-dimensional surface scanning*, „International Journal of Legal Medicine" 2021, vol. 135, s. 2409–2421.

Chakravorty S., Aulakh B.K., Shil M., Nepale M., Puthenkandathil R., Syed W., *Role of Artificial Intelligence (AI) in dentistry: A literature review*, „Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences" 2024, vol. 16, s. S14–S16.

Chee W.J.Y., Chew S.Y., Than L.T.L., *Vaginal microbiota and the potential of Lactobacillus derivatives in maintaining vaginal health*, „Microbial Cell Factories" 2020, vol. 19, 203.

Chiba F., Makino Y., Torimitsu S., Motomura A., Inokuchi G., Ishii N., Hoshioka Y., Abe H., Yamaguchi R., Sakuma A., Nagasawa S., Saito H., Yajima D., Fukui Y., Iwase H., *Sex estimation based on femoral measurements using multidetector computed tomography in cadavers in modern Japan*, „Forensic Science International" 2018, vol. 292, s. 262.e1–262.e6.

Cīrulis B., Hansson J.K., Abbott J.K., *Sex-limited chromosomes and non-reproductive traits*, „BMC Biology" 2022, vol. 20, 156.

Cunha E., *Aging the death: The importance of having better methods for age at death estimation of old individuals*, „Annals of Medicine" 2021, vol. 52, suppl. 1, s. S1.

Damann F.E., Williams D.E., Layton A.C., *Potential use of bacterial community succession in decaying human bone for estimating postmortem interval*, „Journal of Forensic Sciences" 2015, vol. 60, no. 4, s. 844–850.

Daniel M.J., Pazhani A., *Accuracy of bite mark analysis from food substances: A comparative study*, „Journal of Forensic Dental Sciences" 2015, vol. 7, no. 3, s. 222–226.

David P., Degletagne C., Saclier N., Jennan A., Jarne P., Plénet S., Konecny L., François C., Guéguen L., Garcia N., Lefébure T., Luquet E., *Extreme mitochondrial DNA divergence underlies genetic conflict over sex determination*, „Current Biology" 2022, vol. 32, no. 10, s. 2325–2333.

De Tobel J., Ottow C., Widek T., Klasinc I., Mörnstad H., Werner Thevissen P., Luc Verstraete K., *Dental and skeletal imaging in forensic age estimation: disparities in current approaches and the continuing search for optimization*, „Seminars of Musculoskeletal Radiology" 2020, vol. 24, no. 5, s. 510–522.

Deel H., Emmons A.L., Kiely J., Damann F.E., Carter D.O., Lynne A., Knight R., Zech Xu Z., Bucheli S., Metcalf J.L., *A pilot study of microbial succession in human rib skeletal remains during terrestrial decomposition*, „mSphere" 2021, vol. 6, no. 4, e0045521.

Dhopte H., Bagde H., *Smart smile: Revolutionizing dentistry with artificial intelligence*, „Cureus" 2023, vol. 15, no. 6, e41227.

Dong K., Xin Y., Cao F., Huang Z., Sun J., Peng M., Liu W., Shi P., *Succession of oral microbiota community as a tool to estimate postmortem interval*, „Scientific Reports" 2019, vol. 9, 13063.

Eliášová H., Dostálová T., *3D Multislice and Cone-beam Computed Tomography Systems for Dental Identification*, „Prague Medical Report" 2017, vol. 118, no. 1, s. 14–25.

Esan T.A., Yengopal V., Schepartz L.A., *The Demirjian versus the Willems method for dental age estimation in different populations: A meta-analysis of published studies*, „PLoS One" 2017, vol. 12, no. 11, e0186682.

Eto N., Yamazoe J., Tsuji A., Wada N., Ikeda N., *Development of an artificial intelligence-based algorithm to classify images acquired with an intraoral scanner of individual molar teeth into three categories*, „PLoS One" 2022, vol. 17, no. 1, e0261870.

Franzosa E.A., Huang K., Meadow J.F., Gevers D., Lemon K.P., Bohannan B.J.M., Huttenhower C., *Identifying personal microbiomes using metagenomic codes*, „Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA" 2015, vol. 112, no. 22, e2930–e2938.

Ghods K., Azizi A., Jafari A., Ghods K., *Application of artificial intelligence in clinical dentistry, a comprehensive review of literature*, „Journal of Dentistry (Shiraz)" 2023, vol. 24, no. 4, s. 356–371.

Gil-Bona F.B., Bidlack F., *Tooth enamel and its dynamic protein matrix*, „International Journal of Molecular Sciences" 2020, vol. 21, no. 12, 4458.

Godha K., Tucker K.M., Biehl C., Archer D.F., Mirkin S., *Human vaginal pH and microbiota: an update*, „Gynecological Endocrinology: The Official Journal of the International Society of Gynecological Endocrinology" 2018, vol. 24, no. 6, s. 451–455.

Grgurevic N., Majdic G., *Sex differences in the brain – An interplay of sex steroid hormones and sex chromosomes*, „Clinical Science (London)" 2016, vol. 130, no. 17, s. 1481–1497.

Guleria K., Krishan K., Sharma V., Kanchan T., *ChatGPT: Forensic, legal, and ethical issues*, „Medicine, Science and the Law" 2024, vol. 64, no. 2, s. 150–156.

Hachem M., Sharma B.K., *Artificial intelligence in prediction of postmortem interval (PMI) through blood biomarkers in forensic examination – a concept*, [w:] *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, Dubai, United Arab Emirates, 2019, s. 255–258.

He Q., Niu X., Qi R.-Q., Liu M., *Advances in microbial metagenomics and artificial intelligence analysis in forensic identification*, „Frontiers in Microbiology" 2022, vol. 13, 1046733.

Heinrich F., Güttler F., Wendt S., Schenkl S., Hubig M., Wagner R., Mall G., Teichgräber U., *Forensic odontology: Automatic identification of persons comparing antemortem and postmortem panoramic radiographs using computer vision*, „RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin" 2018, vol. 119, no. 2, s. 1152–1158.

Jayakrishnan J.M., Reddy J., Vinod K.R.B., *Role of forensic odontology and anthropology in the identification of human remains*, „Journal of Oral and Maxillofacial Pathology" 2021, vol. 25, no. 3, s. 543–547.

Jeyaraman M., Balaji S., Jeyaraman N., Yadav S., *Unraveling the ethical enigma: Artificial Intelligence in healthcare*, „Cureus" 2023, vol. 15, no. 8, e43262.

Johnson H.R., Trinidad D.D., Guzman S., Khan Z., Parziale J.V., DeBruyn J.M., Lents N.H., *A machine learning approach for using the postmortem skin microbiome to estimate the postmortem interval*, „PLoS One" 2016, vol. 11, no. 12, e0167370.

Kayser M., *Forensic DNA phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes*, „Forensic Science International. Genetics" 2015, vol. 18, s. 33–48.

Khanagar S.B., Al-Ehaideb A., Maganur P.C., Vishwanathaiah S., Patil S., Baeshen H.A., Sarode S.C., Bhandi S., *Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review*, „Journal of Dental Sciences" 2021, vol. 16, no. 1, s. 508–522.

Khanagar S.B., Vishwanathaiah S., Naik S., Al-Kheraif A.A., Divakar D.D., Sarode S.C., Bhandi S., Patil S., *Application and performance of artificial intelligence technology in forensic odontology – A systematic review*, „Leg Med (Tokyo)" 2021, no. 48, 101826.

Kondo T., Ishida Y., *Molecular pathology of wound healing*, „Forensic Science International" 2010, vol. 203, no. 1–3, s. 93–98.

Krishan K., Chatterjee P.M., Kanchan T., Kaur S., Baryah N., Singh R.K., *A review of sex estimation techniques during examination of skeletal remains in forensic anthropology casework*, „Forensic Science International" 2016, vol. 261, s. 165e1–165e8.

Lakshmi A., James R., Annasamy R., Krishnan R., *Determination of Barr bodies in transgender patients in India – A comparative study*, „Journal of Oral Maxillofacial Pathology" 2023, vol. 27, no. 4, s. 674–678.

Lee J.H., Kim D.H., Jeong S.N., Choi S.H., *Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm*, „Journal of Dentistry" 2018, vol. 77, s. 106–111.

Leone M., *From fingers to faces: Visual semiotics and digital forensics*, „International Journal for the Semiotics of Law" 2021, vol. 34, s. 579–599.

Li Y., Niu C., Wang J., Xu Y., Dai H., Xiong T., Yu D., Guo H., Liang W., Deng Z., Lv J., Zhang L., *A fully automated sex estimation for proximal femur X-ray images through deep learning detection and classification*, „Legal Medicine (Tokyo)" 2022, vol. 57, 102056.

López C.D., González D.M., Haas C., Vidaki A., Kayser M., *Microbiome-based body site of origin classification of forensically relevant blood traces*, „Forensic Science International. Genetics" 2020, vol. 47, 102280.

López C.D., Vidaki A., Ralf A., González D.M., Radjabzadeh D., Kraaij R., Uitterlinden A.G., Haas C., Lao O., Kayser M., *Novel taxonomy-independent deep learning microbiome approach allows for accurate classification of different forensically relevant human epithelial materials*, „Forensic Science International. Genetics" 2019, vol. 41, s. 72–82.

Mapundu M.T., Kabudula Ch.W., Musenge E., Olago V., Celik T., *Performance evaluation of machine learning and Computer Coded Verbal Autopsy (CCVA) algorithms for cause of death determination: A comparative analysis of data from rural South Africa*, „Frontiers in Public Health" 2022, vol. 10, 990838.

Marconi V., Iommi M., Monachesi C., Faragalli A., Skrami E., Gesuita R., Ferrante L., Carle F., *Validity of age estimation methods and reproducibility of bone/dental maturity indices for chronological age estimation: a systematic review and meta-analysis of validation studies*, „Meta-Analysis Scientific Reports" 2022, vol. 12, no. 1, 15607.

Márquez-Ruiz A.B., Treviño-Tijerina M.C., González-Herrera L., Sánchez B., González-Ramírez A.R., Valenzuela A., *Three-dimensional analysis of third molar development to estimate age of majority*, „Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society" 2017, vol. 5, no. 5, s. 376–383.

Matsuda S., Miyamoto T., Yoshimura H., Hasegawa T., *Personal identification with orthopantomography using simple convolutional neural networks: A preliminary study*, „Scientific Reports" 2020, no. 10, 13559.

Mayo R.C., Leung J., *Artificial Intelligence and deep learning – Radiology's next frontier?*, „Clinical Imaging" 2017, vol. 49, s. 87–88.

Mays S., *The effect of factors other than age upon skeletal age indicators in the adult*, „Annals of Human Biology" 2015, vol. 42, no. 4, s. 332–341.

Mazurowski M.A., *Artificial Intelligence in radiology: Some ethical considerations for radiologists and algorithm developers*, „Academic Radiology" 2019, vol. 27, no. 1, s. 127–129.

McAvoy Y., Bäckström B., Janhunen K., Stewart A., Cole M.D., *Supercritical fluid chromatography in forensic science: A critical appraisal*, „Forensic Science International" 1999, vol. 99, no. 2, s. 107–122.

Metcalf J.L., *Estimating the postmortem interval using microbes: Knowledge gaps and a path to technology adoption*, „Forensic Science International. Genetics" 2019, vol. 38, s. 211–218.

Milošević D., Vodanović M., Galić I., Subašić M., *Automated estimation of chronological age from panoramic dental X-ray images using deep learning*, „Expert Systems with Applications" 2022, vol. 189, no. 1, 116038.

Mincer H.H., Harris E.F., Berryman H.E., *The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age*, „Journal of Forensic Sciences" 1993, vol. 38, no. 2, s. 379–390.

Nazemian S., Boggs S.T., Jimenez Ciriaco E., Abu Shakra H., Jung E.Y., Lotfalikhan-Zand Y.B., Price J.B., Bashirelahi N., *What every dentist needs to know about the use of artificial intelligence in dentistry*, „General Dentistry" 2023, vol. 71, no. 3, s. 23–27.

Nijhawan R., Ansari S.A., Kumar S., Alassery F., El-Kenawy S.M., *Gun identification from gunshot audios for secure public places using transformer learning*, „Scientifics Report" 2022, vol. 12, 13300.

Oliva G., Pinchi V., Bianchi I., Focardi M., Paganelli C., Zotti R., Dalessandri D., *Three-dimensional dental analysis for sex estimation in the Italian population: A pilot study based on a geometric morphometric and artificial neural network approach*, „Healthcare" 2022, vol. 10, no. 1.

Ossowska A., Kusiak D., Świetlik D., *Artificial Intelligence in dentistry – Narrative review*, „International Journal of Environmental Research and Public Health" 2022, vol. 19, no. 6, 3449.

Oura P., Junno J.-A., Hunt D., Lehenkari P., Tuukkanen J., Maijanen H., *Deep learning in sex estimation from knee radiographs – A proof-of-concept study utilizing the Terry Anatomical Collection*, „Legal Medicine (Tokyo)" 2023, vol. 61, 102211.

Piraianu A.I., Fulga A., Musat C.L., Ciobotaru O.R., Poalelungi D.G., Stamate E., Ciobotaru O., Fulga I., *Enhancing the evidence with algorithms: How artificial intelligence is transforming forensic medicine*, „Diagnostics (Basel)" 2023, vol. 13, no. 18, 2992.

Pringle A.J., Kumaran V., Missier M.S., Pinky Nadar A.S., *Perceptiveness and attitude on the use of Artificial Intelligence (AI) in dentistry among dentists and non-dentists – A regional survey*, „Journal of Pharmacy Bioallied Sciences" 2024, vol. 16, suppl. 2, s. S1481–S1486.

Ramprabhu K., Fatangare S., *Survey on prediction of post mortem interval using artificial intelligence in forensic examination*, „International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)" 2020, vol. 7, issue 5, s. 5760–5764.

Ren K., Wang L., Wang Y., An G., Du Q., Cao J., Jin Q., Yun K., Guo Z., Wang Y., Liang Q., Sun J., *Wound age estimation based on next-generation se-*

quencing: Fitting the optimal index system using machine learning, „Forensic Science International. Genetics" 2022, vol. 49, 102722.

Sabry Abdel-Messih M., Kamel Boulos M.N., *ChatGPT in clinical toxicology*, „JMIR Medical Education" 2023, no. 9, e46876.

San-Millán M., Rissech C., *Inter-population differences in acetabular senescence: Relevance in age-at-death estimation*, „International Journal of Legal Medicine" 2023, vol. 137, s. 701–719.

Schmedes S.E., Woerner A.E., Novroski N.M.M., Wendt F.R., King J.L., Stephens K.M., Budowle B., *Targeted sequencing of clade-specific markers from skin microbiomes for forensic human identification*, „Forensic Science International. Genetics" 2018, vol. 32, s. 50–61.

Seo H., Hwang J., Jung Y.-H., Lee E., Nam O.H., Shin J., *Deep focus approach for accurate bone age estimation from lateral cephalogram*, „Journal of Dental Sciences" 2023, vol. 18, issue 1, s. 34–43.

Shan T., Tay F.R., Gu L., *Application of Artificial Intelligence in dentistry*, „Journal of Dental Research" 2021, vol. 100, no. 3, s. 232–244.

Shen S., Yuan X., Wang J., Fan L., Zhao J., Tao J., *Evaluation of a machine learning algorithms for predicting the dental age of adolescent based on different preprocessing methods*, „Frontiers in Public Health" 2022, vol. 10, 1068253.

Shepherd R., Cheung A.S., Pang K., Saffery R., Novakovic B., *Sexual dimorphism in innate immunity: The role of sex hormones and epigenetics*, „Frontiers in Immunology" 2021, vol. 11, 604000.

Shima N., Sasaki K., Kamata T., Miki A., Katagi M., *Hair testing for drugs in the field of forensics*, „Yakugaku Zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society in Japan" 2019, vol. 139, no. 5, s. 705–713.

Singh S., Singha B., Kumar S., *Artificial Intelligence in age and sex determination using maxillofacial radiographs: A systematic review*, „The Journal of Forensic Odonto-Stomatology" 2024, vol. 42, no. 1, s. 30–37.

Singi S.R., Sathe S., Reche A.R., Sibal A., Mantri N., *Extended arm of precision in prosthodontics: Artificial Intelligence*, „Cureus" 2022, vol. 14, no. 11, 30962.

Sinha M., Sachan D.K., Parthasarathi R., *Artificial intelligence in clinical toxicology*, [w:] *Artificial intelligence in medicine*, eds N. Lindströmer, H. Ashrafian, Cham 2022, s. 1–15.

Spradley M.K., *Metric methods for the biological profile in forensic anthropology: Sex, ancestry, and stature*, „Academic Forensic Pathology" 2016, vol. 6, no. 3, s. 391–399.

Thorat V., Rao P., Joshi N., Talreja P., Shetty A.R., *Role of Artificial Intelligence (AI) in patient education and communication in dentistry*, „Cureus" 2024, vol. 16, no. 5, e59799.

Thurzo V., Svobodová Kosnáčová H., Kurilová V., Kosmeľ S., Beňuš R., Moravanský N., Kováč P., Mikuš Kuracinová K., Palkovič M., Varga I., *Use of advanced artificial intelligence in forensic medicine, forensic anthropology and clinical anatomy*, „Healthcare" 2021, vol. 9, no. 11, 1545.

Tyndall D.A., *A primer and overview of the role of artificial intelligence in oral and maxillofacial radiology*, „Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology" 2024, vol. 138, no. 1, s. 112–117.

Van Pham, Lee S.-J., Kim S.-Y., Lee S., Kim S.-H., Kim H.-S., *Age estimation based on 3D post-mortem computed tomography images of mandible and femur using convolutional neural networks*, „PLoS One" 2021, vol. 16, no. 5, e0251388.

Vashisht R., Sharma A., Kiran T., Jolly S.S., Brar P.K., Veer Puri J., *Artificial intelligence in dentistry – A scoping review*, „Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology" 2024, vol. 36, no. 4, s. 579–592.

Veldhuis M.S., Ariëns S., Ypma R.J.F., Abeel T., Benschop C.C.G., *Explainable artificial intelligence in forensics: Realistic explanations for number of contributor predictions of DNA profiles*, „Forensic Science International: Genetics" 2021, no. 53, 102632.

Vodanović M., Subašić M., Milošević D., Savić Pavičin I., *Artificial intelligence in medicine and dentistry*, „Acta Stomatol Croatica" 2023, vol. 57, no. 1, s. 70–84.

Volonnino G., De Paola L., Spadazzi F., Serri F., Ottaviani M., Zamponi M.V., Arcangeli M., La Russa R., *Artificial intelligence and future perspectives in forensic medicine: A systematic review*, „La Clinica Terapeutica" 2024, vol. 175, no. 3, s. 193–202.

Wankhade T.D., Ingale S.W., Mohite P.M., Bankar N.J., *Artificial intelligence in forensic medicine and toxicology: The future of forensic medicine*, „Cureus" 2022, vol. 14, no. 8, e28376.

Warrier V., Kanchan T., Shedge R., Krishan K., Singh S., *Computed tomographic age estimation from the pubic symphysis using the Suchey-Brooks method: A systematic review and meta-analysis*, „Forensic Science International" 2021, 110811.

Yadav M., Tiwari A., *Forensic toxicology and its relevance with criminal justice delivery system in India*, „Forensic Res Criminal International Journal" 2017, vol. 4, no. 4, s. 122–128.

Yan X., Duanmu L., Zeng B., Liu Z., Song Z., *Mitochondrial DNA: Distribution, mutations, and elimination*, „Cells" 2019, vol. 8, no. 4, 379.

Zaborowicz K., Biedziak B., Olszewska A., Zaborowicz M., *Tooth and bone parameters in the assessment of the chronological age of children and adolescents using neural modelling methods*, „Sensors" 2021, vol. 21, no. 68, 6008.

Zirek T., Öziç M.Ü., Tassoker M., *AI-Driven localization of all impacted teeth and prediction of winter angulation for third molars on panoramic radiographs: Clinical user interface design*, „Computers in Biology and Medicine" 2024, no. 178, 108755.

Zou W., Slone J., Cao Y., Huang T., *Mitochondria and their role in human reproduction*, „DNA and Cell Biology" 2020, vol. 29, no. 8, s. 1370–1378.

Streszczenie

Możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w medycynie sądowej i kryminalistyce – przegląd

Temat niniejszego artykułu koncentruje się na możliwościach zastosowania sztucznej inteligencji (AI, *artificial intelligence*) w medycynie sądowej i kryminalistyce. Ukazuje wiele dziedzin, w których aktualnie i z pozytywnymi efektami wykorzystuje się komputeryzację. Przedstawia problemy i metody badawcze stosowane przez lekarzy medycyny sądowej oraz specjalistów kryminalistyki. Pokazuje sens wykorzystania innych dziedzin nauki jak stomatologia, toksykologia czy mikrobiologia, które pozornie niezwiązane są z tematyką sekcji zwłok. Podsumowuje i wskazuje zalety oraz możliwości zastosowania dodatkowych, cyfrowych narzędzi w postaci sztucznej inteligencji.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, kryminalistyka, medycyna sądowa, medycyna

Abstract

Possibilities of using artificial intelligence in forensic medicine and crime – a review

The topic of this paper focuses on the possibilities of applying artificial intelligence in forensic medicine and forensics. It shows a number of fields in which computerization is currently being used and with positive results. Presents problems and research methods used by forensic physicians and forensic specialists. Shows the sense of using other scientific fields such as dentistry, toxicology or microbiology, which are seemingly unrelated to the subject of autopsy. Summarizes and points out the advantages and possibilities of using additional digital tools in the form of artificial intelligence.

Key words: artificial intelligence (AI), forensics, forensic medicine, medicine