



# Implementacija sustava umjetne inteligencije u radiologiji: povijesni razvoj, trendovi i buduće perspektive

## Implementation of Artificial Intelligence Systems in Radiology: Historical Development, Trends, and Future Perspectives

Neva Coce<sup>1</sup>, Maja Prutki<sup>1,2</sup>, Luka Filipović-Grčić<sup>1</sup>, Tinamarel Mandić<sup>1</sup>, Ivana Kuhtić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju, KBC Zagreb, Zagreb

<sup>2</sup> Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

### Deskriptori

UMJETNA INTELIGENCIJA – trendovi;  
RADIOLOGIJA; ALGORITMI; MAŠINSKO UČENJE;  
NEURONSKE MREŽE

### Descriptors

ARTIFICIAL INTELLIGENCE – trends;  
RADIOLOGY; ALGORITHMS; MACHINE LEARNING;  
NEURAL NETWORKS, COMPUTER

**SAŽETAK.** Za razliku od klasičnih računalnih programa koji funkcioniraju na temelju eksplicitno definiranih instrukcija koje im programer daje, umjetna inteligencija (engl. *artificial intelligence* – AI) temeljena na strojnom učenju (engl. *machine learning*) i korištenju neuralnih mreža (engl. *neural networking*) može samostalno poboljšavati svoje performanse kako dobiva više podataka, odnosno ima sposobnost učenja. Takvi sustavi u radiologiji trenirani su na ogromnim skupovima podataka kako bi prepoznali patološke promjene na radiološkim snimkama uključujući tumore, frakture i druge abnormalnosti. AI sustavi u medicini dramatično mijenjaju način kako se dijagnosticiraju i liječe bolesti. Strojno učenje omogućava naprednu analizu medicinskih slika, točnije identificirajući patologiju. Ovi sustavi, nadmašujući tradicionalne metode, ubrzavaju dijagnostički proces i unapređuju kvalitetu slika, što dovodi do bržih i preciznijih dijagnoza. Primjena AI-a omogućuje i bolje praćenje pacijenata te predviđanje tijeka bolesti, doprinoseći personaliziranom pristupu liječenju. Međutim, izazovi poput integracije u zdravstvene sustave, obrade privatnosti i podataka, te etičkih pitanja predstavljaju prepreke za širu primjenu. Postoji potreba za rigoroznom validacijom AI algoritama, kao i za obukom medicinskog osoblja u korištenju ovih tehnologija. Unatoč ovim izazovima, budućnost AI-a u radiologiji izgleda obećavajuće. Očekuje se daljnji razvoj preciznijih i efikasnijih AI algoritama te njihova integracija s drugim medicinskim inovacijama. To će voditi ka boljem praćenju pacijenata i pružanju personalizirane skrbi. AI u radiologiji ima potencijal ne samo za poboljšanje kvalitete zdravstvene skrbi, već i za transformaciju načina na koji se skrb pruža, s naglaskom na pažljivu regulaciju i kontinuiranu edukaciju kako bi se maksimizirale koristi i minimizirali rizici.

**SUMMARY.** Unlike traditional computer programs that operate based on explicitly defined instructions given by a programmer, artificial intelligence (AI), based on machine learning and the use of neural networks, can independently improve its performance as it receives more data, exhibiting the ability to learn. Such systems in radiology are trained on vast datasets to recognize pathological changes in radiological images, including tumors, fractures, and other abnormalities. AI systems in medicine are dramatically changing as diseases are diagnosed and treated. Machine learning enables advanced analysis of medical images and more accurate identification of pathology. These systems, surpassing traditional methods, speed up the diagnostic process and enhance image quality, leading to quicker and more accurate diagnoses. The application of AI also allows for better patient monitoring and disease progression prediction, contributing to a personalized approach to treatment. However, challenges like integration into healthcare systems, data privacy, processing, and ethical issues present obstacles to broader adoption. There is a need for rigorous validation of AI algorithms, as well as training medical staff in the use of these technologies. Despite these challenges, the future of AI in radiology looks promising. Further development of more precise and efficient AI algorithms and their integration with other medical innovations are expected. This will lead to better patient monitoring and the provision of personalized care. AI in radiology has the potential not only to improve the quality of healthcare but also to transform the way care is delivered, with a focus on careful regulation and continuous education to maximize benefits and minimize risks.

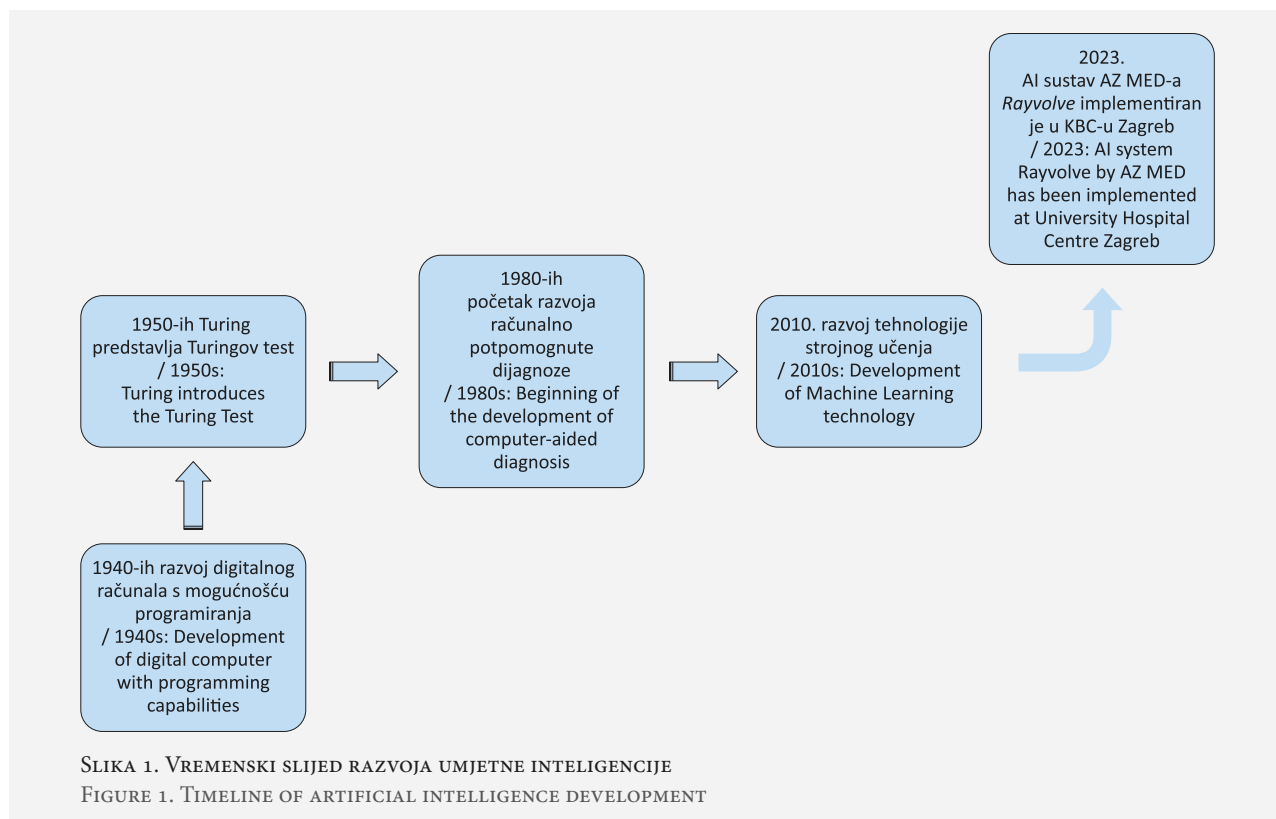
Umjetna inteligencija (AI) je grana računalne znanosti koja se bavi stvaranjem pametnih strojeva sposobnih za obavljanje zadataka koji inače zahtijevaju ljudsku inteligenciju. Ovo uključuje učenje (engl. *machine learning*, ML), razumijevanje jezika (engl. *natural language processing*, NLP), prepoznavanje uzoraka (engl. *computer vision*, CV), rješavanje problema i mnogo više.<sup>1</sup>

AI tehnologije, posebno u medicinskim primjenama kao što je radiologija, predstavljaju revoluciju u

### Adresa za dopisivanje:

Neva Coce, dr. med.,  
Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju, KBC Zagreb,  
Kišpatičeva ulica 12, Zagreb, 10000 Hrvatska, e-pošta: neva001@gmail.com

Primljeno 8. travnja 2024., prihvaćeno 23. srpnja 2024.



dijagnostičkim procesima, poboljšavajući preciznost i učinkovitost u identifikaciji i tretmanu različitih medicinskih stanja.<sup>2</sup>

Sve veći broj istraživanja i razvojnih projekata usmjeren je na integraciju AI-a u različite aspekte radiološke i medicinske prakse općenito, od interpretacije slika do personaliziranog liječenja pacijenata.<sup>3</sup>

### Pogled u prošlost

Korijeni AI sežu daleko u drugu polovicu dvadesetog stoljeća, još od pionirskih radova Alana Turinga, Warrena McCullocha i Waltera Pittsa.<sup>2</sup> Međutim, osamdesete godine prošlog stoljeća označavaju prekretnicu u načinu analize i interpretacije medicinskih slika pojavom automatizirane računalne dijagnoze. Radovi poput onih Kunia Doija bavili su se primjenom računalno potpomognute dijagnoze (engl. *computer-aided diagnosis*, CAD) koja koristi računalnu detekciju abnormalnosti na radiološkim snimkama kao pomoćni alat radiologu za postavljanje dijagnoze.<sup>4</sup> S dolaskom 2010-ih i razvojem tehnologije dubokog učenja (engl. *deep learning*, DL), odnosno strojnog učenja (engl. *machine learning*, ML), AI je postao još više integriran u medicinsku praksu. Napredak u ovom području doveo je do značajnih poboljšanja u preciznosti dijagnostike omogućavajući dublje i složenije analize medicinskih slika kao što su snimke CT, MRI i PET. Litjens i suradnici istraživali su kako duboko učenje

transformira medicinsku analizu slika, omogućujući brže i preciznije dijagnosticiranje raznih bolesti.<sup>5</sup> Vremenski slijed razvoja umjetne inteligencije prikazan je u nastavku (slika 1).

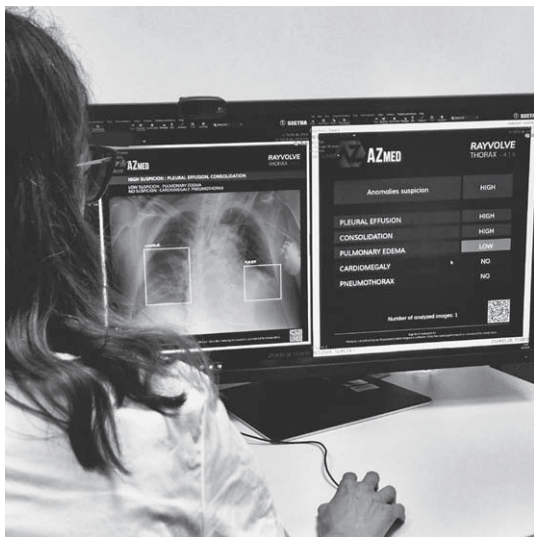
### Današnje mogućnosti primjene AI-a u radiologiji

Današnje mogućnosti primjene AI-a u radiologiji uključuju naprednu analizu slika, detekciju i karakterizaciju bolesti, automatizaciju rutinskih zadataka i podršku u odlučivanju za radiologe. AI može precizno identificirati patologije u raznim slikovnim modalitetima poput CT-a, MRI-a, UZV-a, mamografije i rendgenskih snimki te može pružiti kvantitativne analize koje su korisne u planiranju liječenja.<sup>6</sup>

Osim toga, AI pomaže u smanjenju vremena potrebnog za interpretaciju slika i povećava učinkovitost, smanjujući tako opterećenje radiologa i potencijalne ljudske pogreške.<sup>7</sup>

Primjeri naprednih AI-alata i sustava koji su danas u upotrebi:

1. CheXNeXt – algoritam dubokog učenja za analizu rendgenskih (RTG) snimaka torakalnih organa, sposoban za detekciju 14 različitih patologija;<sup>8</sup>
2. Aidoc – radiološka rješenja uključuju slikovno trijažiranje i kvantifikaciju povezanu s trinaest organskih algoritama odobrenih od strane FDA i osam partner-algoritama odobrenih od strane FDA;<sup>9</sup>



SLIKA 2. FOTOGRAFIJA PRIKAZUJE RADIOLOGA UZ RADNU STANICU KAKO ANALIZIRA SLIKU OBRADENU OD STRANE UMJETNE INTELIGENCIJE. AI SUSTAV AZ MED-A RAYVOLVE IMPLEMENTIRAN JE U KBC-U ZAGREB OD 2023. GODINE.

FIGURE 2. THE PHOTOGRAPH SHOWS A RADIOLOGIST AT A WORKSTATION ANALYZING AN IMAGE PROCESSED BY ARTIFICIAL INTELIGENCIJE. THE AI SYSTEM AZ MED RAYVOLVE HAS BEEN IMPLEMENTED AT UNIVERSITY HOSPITAL CENTRE ZAGREB SINCE 2023.

3. vRADs AI-alati – ovaj teleradiološki sustav koristi AI za ubrzanje poboljšanje točnosti dijagnostike, posebice u hitnim slučajevima;<sup>10</sup>

4. *Tempus Pixel* – koristi AI za vizualizaciju i kvantitativnu analizu radioloških slika CT-a toraksa, mamografije, MR-a mozga, MR-a srca, omogućujući brže i preciznije procjene;<sup>11</sup>

5. AZ MED – AZ Med je razvio softversko rješenje *Rayvolve* koristeći tehnologije dubokog učenja koje automatski detektira i rangira rendgenske snimke s abnormalnostima, omogućujući prioritetnu obradu. U Kliničkome bolničkom centru Zagreb *Rayvolve* je implementiran od 2023. godine (slika 2). Ovaj sustav se koristi u odjelima za hitnu i torakalnu radiologiju, pomažući radiolozima u analizi RTG snimaka kostiju te RTG snimaka srca i pluća. CE je označen i odobren od FDA te je u skladu s ISO 13485 standardima. *Rayvolve* optimizira radne tokove u radiološkim odjelima smanjujući vrijeme potrebno za obradu i interpretaciju slika, što doprinosi bržoj i efikasnijoj skrbi za pacijente.<sup>12</sup>

### Izazovi i pogled u budućnost

Unatoč mnogim prednostima, implementacija AI-a u radiologiju nije bez izazova. Jedan od glavnih izazova je integracija sustava AI u postojeće zdravstvene sustave.<sup>13</sup> Mnoge bolnice i klinike suočavaju se s tehničkim ograničenjima i potrebom za obukom osoblja kako bi u potpunosti iskoristili mogućnosti koje AI

nudi.<sup>14</sup> Dodatno, postoji zabrinutost vezana za privatnost i sigurnost podataka, kao i etička pitanja poput pristranosti algoritama i njihovog utjecaja na kliničko donošenje odluka.<sup>15</sup>

Jedan od izazova je i to što AI može razviti pristranosti temeljene na skupu podataka na kojima je treniran. Ovo može dovesti do nepoželjnih ishoda, posebno u kontekstu multikulturalnih ili genetički raznolikih populacija.<sup>16</sup>

AI ima potencijal transformirati procese donošenja odluka u radiologiji. Korištenjem AI-a radiolozi mogu dobiti dodatne uvide koji mogu pomoći u preciznijoj dijagnostici. Na primjer, AI-alati kao što su *Aidoc* i *Tempus Pixel* pružaju podršku u identificiranju i kvantificiranju patoloških promjena, što može pomoći radiolozima u donošenju informiranijih odluka.<sup>11</sup>

Kako AI postaje sve važniji alat u radiologiji, obrazovanje i obuka radiologa također se moraju prilagoditi. Postoji potreba za integracijom znanja o AI-u u medicinske studijske programe i specijalističke obuke. Radiolozi moraju biti upoznati s mogućnostima i ograničenjima AI alata kao i s načinima na koje se ti alati mogu koristiti u kliničkoj praksi.<sup>14</sup>

Budućnost AI-a u radiologiji izgleda obećavajuće. Očekuje se daljnji razvoj algoritama koji će biti još precizniji i učinkovitiji. Također, očekuje se daljnja integracija AI-a s drugim tehnološkim inovacijama kao što su nosivi medicinski uređaji i telemedicina.<sup>17</sup>

Ovo će omogućiti bolje praćenje pacijenata i personaliziranu medicinsku skrb. U konačnici, AI ima potencijal ne samo poboljšati kvalitetu zdravstvene skrbi, već i transformirati način na koji se zdravstvena skrb pruža. Uz kontinuirani razvoj i pravilno upravljanje, AI u radiologiji može dovesti do značajnih poboljšanja u dijagnostici, liječenju i praćenju pacijenata.<sup>7</sup>

### Zaključak

Sposobnost umjetne inteligencije jest brzo i precizno procesuiranje velikih količina podataka, identificiranje patologija koje ljudsko oko može propustiti i smanjenje vremena potrebnog za dijagnostiku, što je čini neizostavnim alatom u modernoj radiologiji.<sup>18</sup>

Implementacija AI-a u radiologiju nosi sa sobom ne samo tehnološke, već i etičke, obrazovne i operativne izazove. Iako su prednosti AI-a u smislu točnosti, brzine i smanjenja grešaka jasne, etička pitanja poput zaštite privatnosti, pristranosti algoritama i odgovornosti pri pogreškama ostaju značajni problemi.<sup>19</sup> AI-algoritmi mogu imati ugrađene pristranosti koje proizlaze iz podataka na kojima su trenirani, što može dovesti do manje točnih dijagnoza za određene demografske skupine.<sup>20</sup> Drugi izazov je integracija AI-a u postojeće zdravstvene sustave. Radiološki odjeli moraju prilagoditi svoje radne procese i infrastrukturu kako bi u pot-

punosti iskoristili prednosti AI-a.<sup>13</sup> Osim toga, potrebno je obučiti medicinsko osoblje da učinkovito koristi nove tehnologije, što zahtijeva vremenske i financijske resurse.<sup>14</sup>

S obzirom na ove izazove, nužno je uspostaviti jasne smjernice i standarde za upotrebu AI-a u radiologiji. To uključuje razvoj etičkih smjernica za korištenje AI-a i izradu legislative, odnosno uspostavu pratećih zakonskih okvira.<sup>21</sup> Unatoč izazovima, AI u radiologiji nudi obećavajuće perspektive, posebno u pogledu personalizirane medicine. Sposobnost AI-a da analizira velike količine podataka može dovesti do boljeg razumijevanja bolesti na individualnoj razini, omogućavajući prilagođavanje tretmana specifičnim potrebama pacijenata.<sup>7</sup> Ovo bi moglo imati dalekosežne posljedice ne samo za radiologiju, već i za medicinu općenito.

Za kraj, jasno je da AI ima potencijal radikalno transformirati polje radiologije, ali ovo će zahtijevati pažljivo upravljanje, regulaciju i kontinuiranu edukaciju. Kako tehnologija napreduje, tako će i naš pristup njezinom implementiranju morati evoluirati kako bi se osiguralo da je korist od AI-a maksimalna, dok se minimiziraju potencijalni rizici i izazovi.

## INFORMACIJE O SUKOBU INTERESA

Autori nisu deklarirali sukob interesa relevantan za ovaj rad.

## INFORMACIJA O FINANCIRANJU

Za ovaj članak nisu primljena financijska sredstva.

## DOPRINOS AUTORA

KONCEPCIJA ILI NACRT RADA: NC

PRIKUPLJANJE, ANALIZA I INTERPRETACIJA PODATAKA: NC, MP, LFG, TM, IK

PISANJE PRVE VERZIJE RADA: NC, MP

KRITIČKA REVIZIJA: NC, MP, LFG, TM, IK

## LITERATURA

1. *Stanford Emerging Technology Review: Artificial Intelligence*. [Internet]. 2023;157(21):[12 str.]. Dostupno na: <https://setr.stanford.edu> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
2. *Topol EJ*. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019;25(1):44–56.
3. *Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL*. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018;18(8):500–10.
4. *Doi, K*. Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status, and future potential. *Comput Med Imag Graph*. 2007;31(4–5):198–211.
5. *Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M i sur*. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal*. 2017;42:60–88.
6. *Liu Z, Wang S, Dong D, Wei J, Fang C, Zhou X i sur*. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*. 2019;12;9(5):1303–22.
7. *van Leeuwen KG, de Rooij M, Schalekamp S, van Ginneken B, Rutten MJCM*. How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes? *Pediatr Radiol*. 2022;52(11):2087–93.
8. *Rajpurkar P, Irvin J, Ball RL, Zhu K, Yang B, Mehta H i sur*. Deep learning for chest radiograph diagnosis: A retrospective comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists. *PLoS Med*. 2018;20;15(11).
9. *AIDOC*. [Internet]. 2024. Dostupno na: <https://www.aidoc.com/solutions/#aipowered/> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
10. *Vrad*. Radiology AI. [Internet]. 2024. Dostupno na: <https://www.vrad.com/radiology-services/radiology-ai/> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
11. *Tempus*. AI-enabled solutions that provide advanced insights based on radiology images. [Internet]. 2024. Dostupno na: <https://www.tempus.com/radiology/> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
12. *AZmed*. Augmenting Doctors with the Power of AI Rayvolve – Your Artificial Intelligence Partner on X-rays. [Internet]. 2024. Dostupno na: <https://azmed.co/> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
13. *Petersson L, Larsson I, Nygren JM, Nilsen P, Neher M, Reed JE i sur*. Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden. *BMC Health Serv Res*. 2022;22(1):850.
14. *Tejani AS, Elhalawani H, Moy L, Kohli M, Kahn CE Jr*. Artificial Intelligence and Radiology Education. *Radiol Artif Intell*. 2022;5(1).
15. *Najjar R*. Redefining Radiology: A Review of Artificial Intelligence Integration in Medical Imaging. *Diagnostics*. 2023;13(17):2760.
16. *Norori N, Hu Q, Aellen FM, Faraci FD, Tzovara A*. Addressing bias in big data and AI for health care: A call for open science. *Patterns*. 2021;2(10):100347.
17. *Debnath S*. Integrating Information Technology in Healthcare: Recent Developments, Challenges, and Future Prospects for Urban and Regional Health. *WJARR* [Internet]. 2023; 19(01):[8 str.]. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/372311991\\_Integrating\\_Information\\_Technology\\_in\\_Healthcare\\_Recent\\_Developments\\_Challenges\\_and\\_Future\\_Prospets\\_for\\_Urban\\_and\\_Regional\\_Health](https://www.researchgate.net/publication/372311991_Integrating_Information_Technology_in_Healthcare_Recent_Developments_Challenges_and_Future_Prospets_for_Urban_and_Regional_Health) [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
18. *OpenMed Science*. Artificial Intelligence in Healthcare: Revolutionising Diagnosis and Treatment. [Internet]. 2024. Dostupno na: <https://openmedscience.com/artificial-intelligence-in-healthcare-revolutionising-diagnosis-and-treatment/> [Pristupljeno 25. ožujka 2024.].
19. *Char DS, Shah NH, Magnus D*. Implementing Machine Learning in Health Care – Addressing Ethical Challenges. *N Engl J Med*. 2018;378(11):981–3.
20. *Gianfrancesco MA, Tamang S, Yazdany J, Schmajuk G*. Potential Biases in Machine Learning Algorithms Using Electronic Health Record Data. *JAMA Intern Med*. 2018;178(11):1544–7.
21. *Vayena E, Blasimme A, Cohen IG*. Machine learning in medicine: Addressing ethical challenges. *PLoS Med*. 2018;15(11): e1002689.