

Područja primjene umjetne inteligencije u radiografiji

Križić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:685044>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



zir.nsk.hr



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Ivana Križić

**PODRUČJA PRIMJENE UMJETNE INTELIGENCIJE U
RADIOGRAFIJI**

Diplomski rad

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Ivana Križić

**PODRUČJA PRIMJENE UMJETNE INTELIGENCIJE U
RADIOGRAFIJI**

**APPLICATION AREAS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN RADIOGRAPHY**

Diplomski rad / Master's Thesis

Mentor:

doc. dr. sc. Frane Mihanović

Split, 2019.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. CILJ RADA | 3 |
| 3. METODE I MATERIJALI | 4 |
| 4. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE | 5 |
| 4.1. POVIJESNI RAZVOJ..... | 5 |
| 4.2. INTELIGENTNO PONAŠANJE STROJEVA..... | 6 |
| 4.3. STROJNO UČENJE | 8 |
| 4.3.1. OBLICI STROJNOG UČENJA..... | 10 |
| 4.4. DUBOKO UČENJE..... | 12 |
| 4.4.1. UMJETNE NEURONSKE MREŽE | 14 |
| 4.5. SUSTAVI POTPORE ODLUČIVANJU | 17 |
| 4.5.1. ALGORITMI UMJETNE INTELIGENCIJE | 17 |
| 4.5.2. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI | 19 |
| 4.6. PRETRAŽIVANJE BAZA PODATAKA, ZASTUPLJENOST RADOVA O UMJETNOJ INTELIGENCIJI U RADIOGRAFIJI | 20 |
| 4.7. REZULTATI PREGLEDA BAZA PODATKA | 24 |
| 4.7.1. PUBMED | 24 |
| 4.7.2. WEB OF SCIENCE, WOS | 26 |
| 4.7.3. SCOPUS..... | 29 |
| 4.7.4. KONAČNI PREGLED | 33 |
| 4.8. SWOT PROCJENA | 34 |
| 4.9. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U MEDICINE..... | 38 |
| 4.9.1. KLINIČKI SUSTAVI PODRŠKE ODLUČIVANJU | 39 |
| 4.10. PRIMJENA UI PREMA PODRUČIJMA..... | 40 |
| 4.10.1 ROBOTIKA | 42 |
| 4.11. RADIOLOGIJA | 45 |

| | |
|---|-----|
| 4.11.1. INOVACIJA <i>OXIPIT</i> | 47 |
| 4.11.2. UI U MEDICINSKOM OSLIKAVANJU | 48 |
| 4.12. RAČUNALNO POTPOMOĞNUTO OTKRIVANJE (CAD)..... | 50 |
| 4.12.1. INTELIGENTNA RADNA STANICA | 62 |
| 4.12.2. RADIOLOG ANALITIČAR..... | 62 |
| 4.12.3. RADIOLOŠKI TEHNOLOG..... | 64 |
| 4.13. UI NASUPROT 101 RADIOLOGA..... | 65 |
| 4.14. UI U AUTOMATIZACIJI DIJAGNOSTIKE..... | 66 |
| 4.14.1. MOGUĆNOSTI, IZAZOVI, ZAMKE I MJERILA ZA USPJEH | 67 |
| 4.14.2. SLIKE SU VIŠE OD SLIKA, SLIKE SU PODACI..... | 68 |
| 4.14.3. ZAŠTO JE RADIOMICS POTREBNA U PRECIZNOJ MEDICINI?..... | 71 |
| 4.15. MAMOGRAFIJA..... | 71 |
| 4.15.1. RAZLIČITE TEHNIKE UI ZA OBRADU SLIKA..... | 74 |
| 4.16. UTJECAJ PRIMJENE UI U ONKOLOGIJI | 77 |
| 4.17. MAGNETNA REZONANCA | 81 |
| 4.18. ULTRAZVUK | 83 |
| 4.19. ODGOVORNOST I SIGURNOST..... | 85 |
| 4.19.1. PRAVO | 87 |
| 4.19.2. ZAŠTITA PRIVATNOSTI..... | 90 |
| 4.19.3. ZNAČI LI UMJETNA INTELIGENCIJA PROPAST ZA RADIOLOGIJU?..... | 90 |
| 4.20. POZITIVNI UTJECAJ..... | 91 |
| 4.20.1. ALGORITAM BOLJI OD LJUDI..... | 92 |
| 5. RASPRAVA | 94 |
| 6. ZAKLJUČAK | 96 |
| 7. SAŽETAK..... | 98 |
| 8. SUMMARY | 99 |
| 9. LITERATURA..... | 100 |
| 10. ŽIVOTOPIS | 110 |

1. UVOD

Izrazom umjetna inteligencija UI (*engl. Artificial Intelligence AI*) označavaju se sustavi koji pokazuju inteligentno ponašanje tako što analiziraju svoje okruženje i izvode radnje uz stupanj autonomije radi postizanja određenih ciljeva. Posljednjih nekoliko godina umjetna inteligencija je ušla u svakodnevni život na razne načine. Suvremeni svijet se susreće s graničnom mitskom pojavom umjetne inteligencije, sučelja ljudskog i strojnog. Tijekom proteklih pola stoljeća, informacijske i komunikacijske tehnologije (*engl. Information and Communication Technology ICT*) i novi mediji su počeli mijenjati našu realnost na svim razinama tako i na medicinskoj razini (1). Stoga je jedan od ciljeva rada bio pregledom literature ispitati utjecaj UI i primjenu u radiografiji i drugim područjima. Poboljšava li primjena umjetne inteligencije liječničko izvješće i cjelokupan proces rada radiologije, označava li povoljan ishod za pacijenta? Opisane su i različite metode kojima se ostvaruje umjetna inteligencija. One uključuju duboko učenje, strojno učenje, umjetne neuronske mreže. Jedno od najperspektivnijih područja i inovacija u zdravstvu je upravo primjena umjetne inteligencije prvenstveno u medicinskoj obradi slika (2). Ono što je značajno jest da su se publikacije za ovu temu drastično povećale s oko 100 - 150 godišnje u razdoblju 2007. - 2008. na 700 - 800 godišnje u razdoblju 2016. - 2017. godine (2). Magnetska rezonanca (MR) i kompjuterizirana tomografija (CT) zajedno čine više od 50% trenutnih članaka na ovu temu. Neuroradiologija se pojavljuje u jednoj trećini radova, slijede mišićno skeletni sustav, kardiovaskularni sustav, prikazi prsišta, dojki, urogenitalnog i abdominalnog sustava od kojih svako polje predstavlja 6 - 9% predmeta članaka (2). S nepovratnim povećanjem količine podataka i mogućnošću upotrebe umjetne inteligencije za identifikaciju nalaza koji se mogu otkriti ili ne mogu otkriti ljudskim okom, radiologija se kreće od subjektivne percepcijske vještine ka objektivnoj znanosti (2). Veća učinkovitost koju pruža UI omogućit će radiolozima da obavljaju više zadataka sa dodatnom vrijednošću, postaju sve vidljiviji pacijentima i igraju ključnu ulogu u multidisciplinarnim kliničkim timovima. U svijetu velikih podataka i poplave informacija sustavi koji primjenjuju umjetnu inteligenciju postaju sve značajniji (3). Svijest o ovom trendu je nužna, posebno za mlađe generacije koje će se suočiti u potpunosti s ovom revolucijom (2).

Nastojanja da se izgradi umjetna inteligencija doživljavaju strelovit uspon obilježen brojnim investicijama u primjeni i razvoju inteligentnih sustava na područjima komunikacije, trgovine, zdravstvenih usluga (2, 3). Razlog za odabir konkretne teme je činjenica kako je posljednjih godina u naglom porastu razvoj i primjena inteligentnih sustava. Želja za opširnijim znanjem o ovom polju. Koliko je ovo polje UI dotaklo medicinu i konkretno radiologiju, kako je promijenilo i kako će ju mijenjati. Na Europskom Radiološkom Kongresu u Beču 2018. godine bila je i glavna tema koja je pobudila zanimanje i potaknula širenje misli kako će umjetna inteligencija obilježiti i sljedeća desetljeća, pokrenuti novu tehnološku revoluciju i izmijeniti živote pacijenta i zdravstvenih djelatnika na način koji ne možemo sasvim ni shvatiti (3).

2. CILJ RADA

Nastojali smo radom ostvariti nekoliko ciljeva. Prikazati osnovne principe na koji način djeluje umjetna inteligencija te gdje je sve primijenjena. Razvitak UI od njenih početaka do danas. Bit će objašnjena i njihova osnovna obilježja i funkcionalnosti. Prikazan je pregled vezan uz sigurnost i zaštitu pacijenta te osnovni nedostaci i prednosti UI.

Ciljevi jesu:

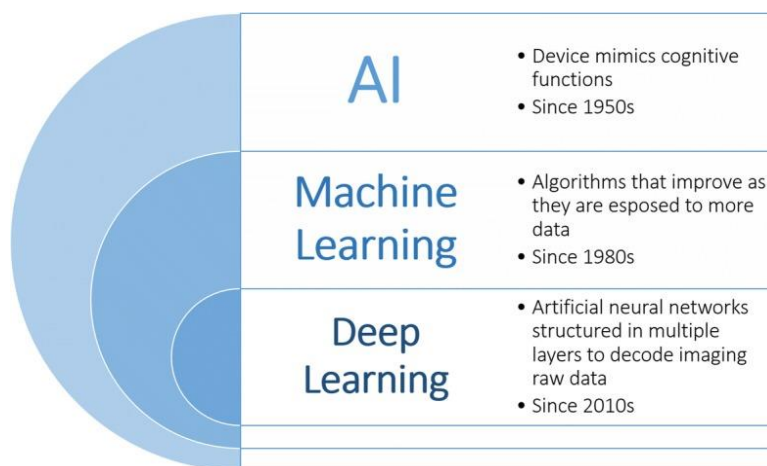
1. Usvojenost osnovnih znanja o umjetnoj inteligenciji, strojnom učenju i dubokom učenju;
2. Prikazati primjenu umjetne inteligencije u radiografiji;
3. Prikazati dosadašnja znanja i istraživanja u području umjetne inteligencije u radiografiji;
4. Prikazati podatke o sigurnosti, dijagnostičkoj točnosti, vrijednosti, uvjetima, utjecaju te nedostacima primjene UI u medicini i radiografiji;
5. Prikaz porasta u publiciranju navedene teme;
6. Prikazati etičke i pravne dileme;
7. Utvrditi poboljšani tijek rada i poboljšani ishod za pacijenta.

3. METODE I MATERIJALI

Analiza i pregled znanstvenih radova objavljenih na temu umjetne inteligencije u radiografiji. Svrha ovog rada je prikazati zastupljenost, analizirati pregledne - *Review* članke o umjetnoj inteligenciji u radiografiji u citatnim bazama Web of Science, Pubmed, Scopus. Pretraživanje unaprijed određenih pojmova za članke objavljenje u razdoblju od 2014. do 2019. Prikaz snaga i prilika primjene umjetne inteligencije kroz SWOT analizu te detaljan pregled literature o području primjene UI u radiografiji.

4. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE

Umjetna inteligencija sposobnost digitalnog računala ili računalno kontroliranog robota da izvodi zadaće obično povezane uz inteligentna bića. UI djeluje kroz prikupljanje, pohranu i primjenu znanja, u rješavanju složenih zadataka, koristi se poučavanju mišljenja i donošenju odluka. Kad je riječ o umjetnoj inteligenciji, ključne riječi koje se uz nju pojavljuju jesu strojno učenje, duboko učenje (Slika 1).



Slika 1. Duboko učenje i strojno učenje, predstavljaju grane tehnika umjetne inteligencije. Tehnike strojnog učenja opsežno se primjenjuju od 1980.- ih. Duboko učenje primjenjuje se od 2010. godine zbog napredovanja računskih resursa.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205/>

4.1. POVIJESNI RAZVOJ

Umjetna inteligencija započela se razvijati 1943. godine, logičar Walter Pitts i znanstvenik Warren S. McCulloch osmislili su matematički model kojim su pokušali simulirati rad živčanog sustava. Time su razvili prvi model umjetne neuronske mreže (*engl. Artificial neural network*). Umjetni neuron kao tvorevina koja prima podatke, obrađuje ih te prosljeđuje drugim neuronima. Potom je 1958. godine Rosenblatt predstavio novi model umjetnog neurona kojeg je nazvao perceptron (4). Zatim je dana teorija prema kojoj neizrazita logika proizlazi iz međusobnog povezivanja, percepcije, zaključivanja i spoznaje. Neizrazita logika služi za opisivanje elemenata čije granice nisu jasno definirane te problema koji su nejasno opisani.

Neizrazita logika se smatra alatom koji omogućuje manipulaciju i rad sa neodređenim podacima. Prvotni cilj znanstvenika oslonjenih na dotadašnje spoznaje nije bio samo kreirati algoritam koji će rješavati određeni problem nego promatrati fenomen prilagodbe svake iduće generacije koji se javlja u prirodi. (4, 5). Filozofski gledano ovi programi slijede jednostavno pravila i nikad u stvari ne mogu razumjeti ono što rade (3). Riječima umjetna inteligencija danas se predaje monumentalno značenje (6).

Inteligencija je sposobnost, svojstvo jedinke da se uspješno snalazi u novim situacijama. Umjetna inteligencija, kako Marvin Minsky, definira je znanost o tome kako postići da strojevi izvode zadatke koji bi kada bi ih radio čovjek, iziskivali inteligenciju. Rich je definirala umjetnu inteligenciju na način; UI bavi se izučavanjem kako računalo učiniti sposobnim da obavlja poslove koje u tom trenutku ljudi obavljaju bolje (7). Može se reći da je UI disciplina za koju je raširen interes, ona je zapravo disciplina koja se bavi izgradnjom i oblikovanjem inteligentnih sustava koji implementiraju ona svojstva ljudskog ponašanja koja se smatraju inteligentnima (7). Istraživanjem umjetne inteligencije bave se skoro sve discipline i područja znanosti. Prema stupnju implementacije i usvajanja svojstava ljudskog ponašanja, umjetna inteligencija može se podijeliti na slabu i jaku. Slabu umjetnu inteligenciju karakterizira razvijanje inteligentnih sustava kojima se dodaju samo određena svojstva ljudskog ponašanja, dok jaka umjetna inteligencija označava mogućnost stvaranja sustava koji će u potpunosti moći naučiti svako ljudsko ponašanje (7). S novim načinima širenja čovjekove mentalne i fizičke sposobnosti s tehnologijom, nanotehnologijom, biotehnologijom, kibernetikom, neuroznanosti nastaje nova paradigma za tjelesno i duševno (1).

4.2. INTELIGENTNO PONAŠANJE STROJEVA

Umjetna inteligencija i filozofija te zagovaratelji jake umjetne inteligencije vjeruju kako je računalo koje se ponaša na inteligentan način sposobno posjedovati mentalna stanja, stoga može biti zaista svjesno, na isti način kao ljudi odnosno može i razumjeti ono što radi. Da bi ovo bilo moguće potreban je dobar softver računala sa jakim procesorima za obradu (3).

Alan Turing utemeljió je teoriju klasičnog računalstva 1936. godine. U znanstvenom radu „*Computing Machinery and Intelligence*“ 1950. g postavio je važno pitanje; mogu li strojevi misliti? Tvrdio je kako je to moguće uz to je predstavio test kojim bi se utvrdilo je li program to postigao. Test je poznat kao Turingov test (3). Zasniva se na tome da prikladan sudac (čovjek/živa osoba) nije u stanju prepoznati razgovara li sa drugim čovjekom ili sa računalnim programom, odnosno je li program čovjek ili nije (3). Da bi navedeno postigao računalu je potrebno znanje iz određene domene tj. potrebna mu je baza znanja, neka pravila koja su pripremljena od strane stručnjaka koja se moraju slijediti kad se pojavi nova informacija i neki način komunikacije koji se treba ostvariti sa korisnikom sustava (3). Inteligencijom nazivamo sposobnost rasuđivanja, stjecanja, gomilanja i korištenja znanja. Kao pokazatelj inteligencije koristi se mogućnost snalaženja u novim okolnostima, ali i količina informacija koju netko posjeduje (8).

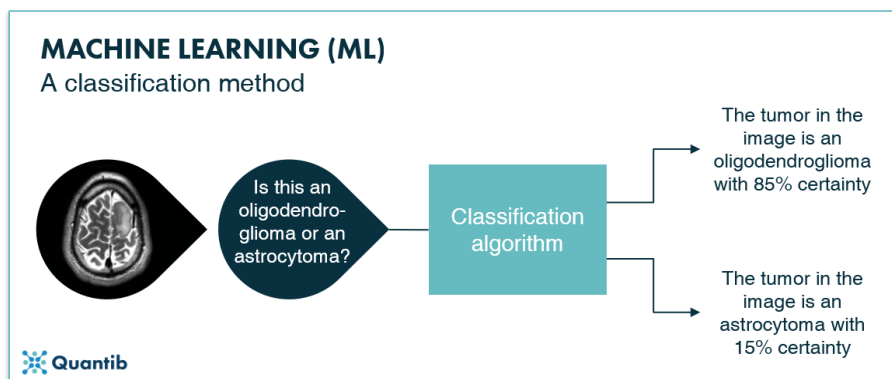
Koje su granice umjetnih pomagala mentalnog tipa? Je li stvarno moguće stvoriti umjetnu inteligenciju? Ako je moguće koje su njene osobitosti i granice, može li ona ugroziti ljudsku vrstu? Hoće li ljudsku inteligenciju zamijeniti umjetna inteligencija, koja će ljudsku potisnuti kao niže vrijednu? (8) Mnogi znanstvenici govore da su već sad računala dosegla ljudsku intelektualnu ekvivalenciju. Računala imaju veću preciznost i brzinu te stalnost od nervnih aktivnosti u središnjem živčanom sustavu. Je li moguće da će računala postati razumna te će iz tog razloga imati i steći slobodnu volju, odgovornost, legalna prava, ostaje tek vidjeti u budućnosti.

Tijekom 2012. i 2013. godine neke od velikih kompanija su počele velike količine kapitala trošiti i ulagati na pretraživanja i istraživanja u umjetnoj inteligenciji (9). Ovisno o kontekstu može se koristiti nekoliko definicija umjetne inteligencije. Mnoge od tih definicija povezuju ljudsko ponašanje s namijenjenim ponašanjem računala. Umjetna inteligencija je zaključno grana računalne znanosti koja se bavi simulacijom inteligentnog ljudskog ponašanja u računalima (10). Što se tiče radiologije ovu definiciju valja proširiti na granu informatike koja se bavi stjecanjem, rekonstrukcijom, analizom interpretacijom medicinskih slika simuliranjem ljudskog inteligentnog ponašanja (10).

4.3. STROJNO UČENJE

Strojno učenje (*engl. Machine Learning*) izraz uveden 1959. godine od strane Arthura Samuela, koji je opisivao pod polja UI koji uključuje sve one pristupe koji omogućuju računalima da uče iz podataka bez da su eksplicitno izričito programirani, opsežno se primjenjuje u medicinskom snimanju. Među tehnikama koje spadaju pod strojno učenje je duboko učenje (*engl. Deep Learning*) tehnika koja se pojavila kao jedna od najperspektivnijih. Strojno učenje funkcionira kao podskupina metoda umjetne inteligencije, koje karakterizira činjenica da se ne mora unaprijed reći računalu kako riješiti problem. Računalo uči rješavati zadatke prepoznavanjem uzoraka u podacima. Grana je umjetne inteligencije koja se bavi oblikovanjem algoritama koji svoju učinkovitost poboljšavaju na temelju empirijskih podataka. Danas se strojno učenje smatra jednim od najaktivnijih i najuzbudljivijih područja računalne znanosti, zbog brojnih mogućnosti primjene koje se protežu od raspoznavanja uzoraka, dubinske analize podataka, robotike itd. (7). Strojno učenje osobito algoritmi dubokog učenja nedavno su napravili veliki napredak u automatskom dijagnosticiranju bolesti, čineći dijagnostiku jeftinijom i pristupačnijom (11). Za dijagnosticirati bolesti medicinska obuka zna trajati godinama. Čak i tada, dijagnostika je često naporan i dugotrajan proces, a to stavlja liječnike pod izrazit napor i često odgađa dijagnozu pacijenta koja može spasiti život.

Strojno učenje uključuje računalne modele i algoritme koji oponašaju strukturu neuronskih mreža u mozgu tj. umjetne neuronske mreže (3). Uz pomoć algoritma klasifikacije strojno učenje klasificira različite podatke medicinske slike (Slika 2.). Arhitektura neuronskih mreža strukturirana je u slojeve sastavljene od međusobno povezanih čvorova. Svaki čvor izvodi ponderirani zbroj ulaznih podataka koji se naknadno prosljeđuju aktivacijskoj funkciji.



Slika 2. Primjer algoritma klasifikacije, algoritma strojnog učenja koji klasificira slike u različite kategorije.

Izvor: <https://www.quantib.com/the-ultimate-guide-to-ai-in-radiology>

Količina se dinamički optimizira tijekom faze treninga. Postoje tri različite vrste slojeva:

- Ulazni sloj koji prima ulazne podatke
- Izlazni sloj koji proizvodi rezultate obrade podataka
- Skriveni sloj koji izdvaja uzorke unutar podataka

Strojno učenje predstavlja značajni aspekt umjetne inteligencije, upravo sposobnost računala da uči. Strojno učenje možemo svrstati u dvije kategorije:

- Nadzirano
- Nenadzirano

Nadzirano učenje predstavlja rad sa skupom prethodno označenih podataka na kojima se uči. Za svaki primjer podatka s kojim se radi potrebno je odrediti parove ulaznih i izlaznih objekata (3). Kada je riječ o nenadziranom učenju, računalu se prepušta nalaženje skrivenih uzoraka u gomili podataka. U tom slučaju nema unaprijed određenog odgovora. Tad se pokrene algoritam koji izvodi strojno učenje i tako se dobije ishod (3). Algoritmi strojnog učenja mogu naučiti i vidjeti obrasce slično načinu na koji ih liječnici vide. Ključna razlika je u tome što algoritmima treba mnogo konkretnih primjera, mnogo tisuća, da bi se naučio. Primjeri trebaju biti uredno digitalizirani, što predstavlja jedan od preduvjeta za primjenu umjetne inteligencije. Tako je strojno učenje osobito korisno u područjima gdje su dijagnostičke informacije koje liječnik pregledava već digitalizirane (11).

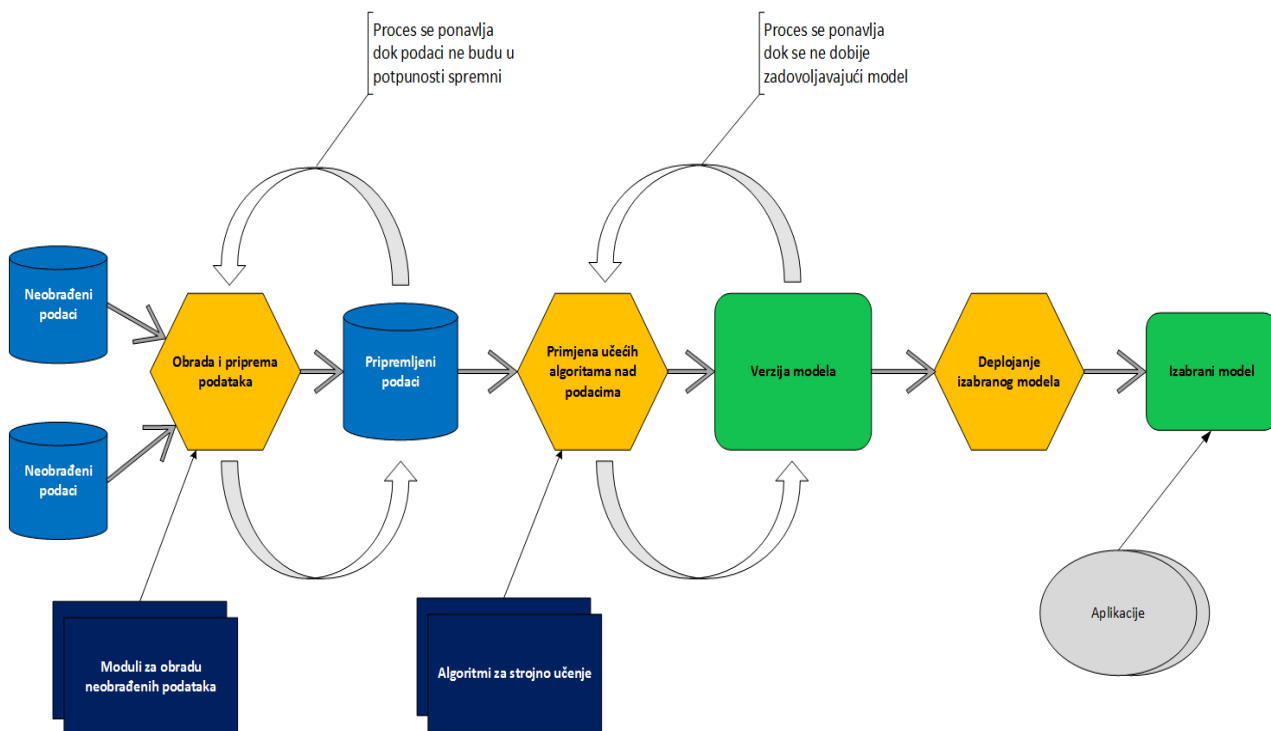
4.3.1. OBLICI STROJNOG UČENJA

Nadzirano učenje (*engl. Supervised learning*) je oblik strojnog učenja prilikom kojeg se posjeduje eksplicitna informacija o primjerima i vrijednostima njihove ciljne varijable (*engl. Label*). Podaci su u obliku ulaza, izlaza (x, y) te treba pronaći preslikavanje $\hat{y} = f(x)$. Ukoliko je y nebrojčana vrijednost radi se o slučaju klasifikacije (*engl. Classification*), a ukoliko je y brojčana vrijednost radi se o regresiji (*engl. Regression*) (7,12). Cilj nadziranog učenja jest kreirati model koji će raditi analize na novim primjerima. Primjeri nadziranog učenja za klasifikaciju su raspoznavanje simbola na slikama, medicinska dijagnostika i slično (7). Razlog provođenja nadziranog učenja je razviti “klasifikator” koji može predvidjeti sve mogućnosti iz unaprijed zadanih klasa ili uzoraka na temelju skupa atributa i značajki za opisivanje stavki (12).

Nenadzirano učenje (*engl. unsupervised learning*) oblik učenja u kojem postoje primjeri, ali bez oznake ili informacije o njihovoj kategorizaciji. Cilj je grupirati primjere, projicirati podatke u niže dimenzionalne prostore, potom otkriti strukturnu pravilnost u podacima. Primjenjuje se kod dubinskih analiza podataka, segmentacije. Proces strojnog učenja je iterativan i vrlo izazovan. Važno je definiranje pravog pitanja, potom provjera jesu li prikupljeni podaci adekvatni za to pitanje i koliko ih je potrebno mijenjati, koji će se algoritmi na osnovu definiranog modela i problema upotrijebiti te kako će se zapravo mjeriti uspjeh modela (7).

Proces strojnog učenja se može podijeliti na sedam dijelova (Slika 3.):

1. Prikupljanje neobrađenih podataka
2. Obradivanje podataka
3. Pripremljeni podaci
4. Primjena algoritama strojnog učenja
5. Prva verzija modela
6. Postavljanje modela
7. Kreiran odabrani model



Slika 3. Pojedini dijelovi procesa se ponavljaju dok se ne dobiju željeni, optimalni

rezultati. Izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/949039.Final_0036493100_41.pdf

Model se može poboljšati na način da se izaberu drugi atributi (*engl. Features*), da se dodaju novi zapisi odnosno zapažanja, modificiranjem algoritma po kojemu model uči ili pak odabir sasvim drugog algoritma (Slika 3.).

Pretpostavimo da je objekt opisan s mnogo atributa. Svakom objektu se dodjeljuje jedna klasa iz konačnog skupa mogućih klasa (13). Atributi predstavljaju nezavisno promatrane varijable, kontinuirane. Klasa je zavisna ili nepromatrana varijabla i njezinu vrijednost odredimo iz vrijednosti odgovarajućih nezavisnih varijabli (13). Zadatak klasifikatora je odrediti koju klasu treba dodijeliti promatranom objektu. Klasifikacijski zadatak je i medicinska dijagnostika pacijent je opisan skupom raznih kontinuiranih (dob, visina, težina, tjelesna temperatura, krvni tlak) i diskretnih (spol, lokacija boli, broj otkucaja srca u minuti) atributa. Zadatak klasifikatora je odrediti dijagnozu odnosno označiti pacijenta s jednom od mogućih medicinskih dijagnoza povezujući sve attribute (bilo da je riječ o normalnom nalazu, upalnom stanju i slično) (13).

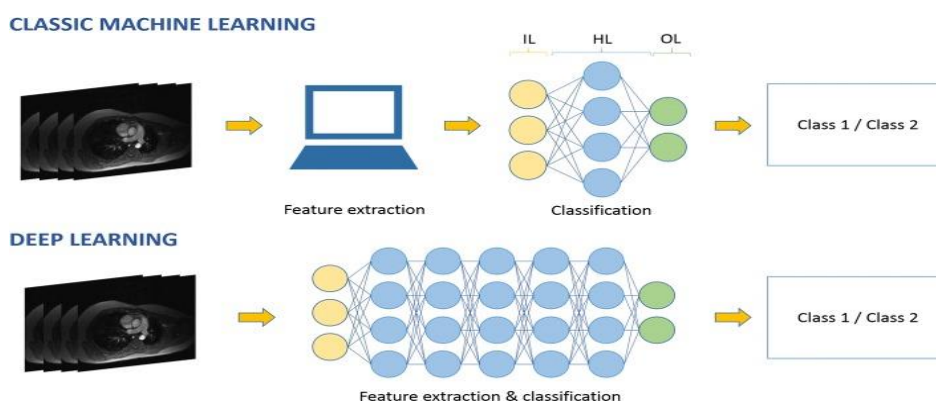
4.3.1.1. POGREŠKE MODELA OVERFITTING I UNDERFITTING

Pogreške modela mogu nastati zbog neadekvatnog opremanja (*engl. Underfitting*) te preopterećenja (*engl. Overfitting*). Kod *underfittinga* kvaliteta predikcije modela na podacima za treniranje i na pravim podacima je niska, dok kod *overfittinga* je kvaliteta predviđanja modela na podacima za treniranje visoka, a na stvarnim podacima niska. Može se reći kako je kod *underfittinga* riječ o prejednostavnom modelu, dok je kod *overfittinga* riječ o prekompleksnom modelu (7,14).

4.4. DUBOKO UČENJE

Duboko učenje kao podgrupa metoda strojnog učenja, koje predstavljaju granu postojećih tehnika umjetne inteligencije. Tehnike strojnog učenja primjenjuju se od 1980-ih. Duboko učenje primjenjuje se od 2010. zbog napredovanja računalnih resursa (2). UI može vršiti više aplikacija, od snimanja i obrade slika do potpomognutog izvješćivanja, naknadnog planiranja, pohrane podataka, prihvaćanja i dohvaćanja podataka i mnogih drugih. Zbog ovako velikog raspona zasigurno će utjecati na svakodnevni život radiologa i radioloških tehnologa (2). Metode dubokog učenja pripadaju metodama učenja s višestrukih razina, obrađuju sirove podatke za obavljanje zadataka klasifikacije ili otkrivanja (2).

Medicinske slike, prolaze kroz temeljitu transformaciju. Analiza tržišta predviđa daljnji procvat primjene UI u idućih 5 do 10 godina. Najnovije metode dubokog učenja otvorit će put ka kvantitativnim, standardiziranim i personaliziranim slikama (2). Umjetna inteligencija poboljšava kvalitetu, učinkovitost i ishode za pacijente. Razlučivost slike, stalno se poboljšava čime je radiolog dobio i veću količinu podataka i elemenata za analiziranje. Procijenjeni ukupni volumen medicinskih podataka udvostručuje se svake tri godine (15). Slika više nije samo slika, ona predstavlja podatke. Istraživanja pokazuju da se pogrešne interpretacije javljaju u oko 4% svih radioloških dijagnoza stoga je primjena metoda UI dobrodošla (15). Kvaliteta slike se može pojačati korištenjem algoritma dubokog učenja. Duboko učenje potkategorija je strojnog učenja, a realizira se umjetnim neuronskim mrežama (3). Koristeći umjetnu neuronsku mrežu organiziranu u različitim slojevima (ulazni sloj IL, HL skriveni sloj, OL izlazni sloj) pristup dubokog učenja izbjegava proces namijenjen ekstrakciji značajki tako što koristi duboke neuronske mreže koje predstavljaju složene značajke jednostavnih sastava učeći automatski iz ulazne slike. (Slika 4.) Ključni faktori poboljšanja izvedbe algoritama dubokog učenja su dostupnost velikih skupova podataka za treniranje, ostvareni masovnim povezivanjem računala te povećanje kapaciteta memorije i brzine računala. Duboko učenje je uglavnom bez nadzora. Pri tome se može postići najbolje moguće rješenje ili barem rješenje koje je funkcioniira (3). Duboko učenje pristup je razvijen kako bi se poboljšala izvedba konvencionalne neuronske umjetne mreže (2).



Slika 4. Usporedba klasičnog strojnog učenja i pristupa dubokog učenja primijenjenog na zadatak klasifikacije.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205/>

Duboko učenje razlikuje jedan skriveni sloj koji sadrži veliki broj skrivenih slojeva čime se karakterizira dubina mreže. Konvolucijske neuronske (*engl. Convolutional Neural Network CNN*) operacije koriste se za dobivanje mapa značajki. U tim značajkama se intenzitet svakog piksela/voksela izračunava kao zbroj svakog piksela/voksela izvorne slike i susjedne slike ponderiranih matrica konvolucija, koje se nazivaju i jezgrama. Različiti kerneli se primjenjuju za određene zadatke, kao što su zamucenje, izoštravanje ili otkrivanje ruba (2). CNN su biološki inspirirane mreže koje oponašaju ponašanje moždane kore. Arhitektura dubokih CNN-ova dopušta slaganje složenih značajki iz jednostavnih značajki za dekodiranje sirovih podataka slike bez potrebe da mora obilježavati specifične značajke. Zadaci koje je do prije nekoliko godina mogao učiniti samo čovjek. Takve strukture uče različite značajne iz podataka automatski, dajući mogućnost ujednačavanja vrlo složenih nelinearnih odnosa. Nedavni algoritmi dubokog učenja su u mogućnosti da odgovaraju, pa čak i **nadmašuju** ljudske performanse u specifičnim zadacima (16, 17).

4.4.1. UMJETNE NEURONSKE MREŽE

Način na koji mozak omogućuje misao jedna je od najvećih misterija znanosti (3). Umjetne neuronske mreže (*engl. Artificial Neural Network, ANN*) se mogu najbolje opisati kao računalni modeli sa određenim karakteristikama kao što su sposobnost prilagodbe i učenja, sposobnost generaliziranja te prikupljanja i organizacije podataka. Njihova je uloga da pokušaju simulirati djelovanje središnjeg živčanog sustava živih bića (3, 4). Sastoje se od jednostavnih procesnih jedinica čiji je zadatak međusobna komunikacija slanjem signala preko velikog broja poveznica. Neuroni i živčane stanice su procesne jedinice te je njihov zadatak primanje, obrada i slanje signala do idućeg primatelja. Umjetni neuron na ulazu dobiva niz varijabli koje predstavljaju pobudu od neurona iz prethodnog sloja. Koliko će svaka pobuda utjecati na neuron definirano je težinom na način da signal koji dolazi na neki od ulaza se množi s korespondentnom težinom. Stoga je efektivno djelovanje signala definirano umnoškom tih dviju vrijednosti (4). Umjetne neuronske mreže su zamišljene tako da uz svoju jednostavnost te široku primjenu, zadrže otpornost na oštećenja. Navedena karakteristika je preuzeta iz poznavanja bioloških neurona za koje se zna da posjeduju ovu karakteristiku, zapravo veliki broj živčanih stanica prirodno odumre svake godine, no ljudski mozak nastavlja i dalje funkcionirati.

Otpornost se narušava onda kada u vrlo kratkom vremenu odumre veliki broj živčanih stanica, uzrokovan velikim moždanim udarom (18). Informacije koje su vezane za živčane stanice koje su pogođene oštećenjem se gube trajno ili ih je vrlo teško vratiti. Stoga, umjetne neuronske mreže nastoje razviti otpornost na oštećenja tako da čak i velike poteškoće ne uzrokuju gubitak podataka. Trenutne umjetne neuronske mreže su simulirane na računalima te njihova otpornost na oštećenja nije dobro izražena. Svaka neuronska mreža se sastoji od tri sloja i to: ulaznog, skrivenog i izlaznog sloja. Skriveni sloj može sadržavati više podslojeva. Kako bi se postiglo da se neuronska mreža ponaša na željeni način, potrebno ju je učiti (14). Algoritmi učenja mreže to čine na način da modificiraju njezine parametre. Ulazni sloj prima značajke slike koje su ručno izvedene iz slika i obavlja specifične izračune koristeći te značajke. Izlazni sloj prima rezultate izračuna iz čvorova ulaznog sloja i dat će nam odgovarajući ishod na postavljeno pitanje. Izlazni sloj nam govori koju vrstu tumora mreža očekuje da će biti prikazana na ulaznoj slici (10). Pronalazeći informacije iz ulaznog u izlazni sloj, algoritam pronalazi odgovor na pitanje u slučaju koji je tip tumora na slici (19). U kontekstu radiologije, ulazni sloj je medicinska slika odnosno svi pikseli medicinske slike. U idealnoj situaciji svaki bi piksel bio dodijeljen pojedinom čvoru. Međutim zbog ograničenja memorije obično se radi sa skupovima više piksela koji su dodijeljeni pojedinom čvoru (10). Ti čvorovi zatim prosljeđuju vrijednost skupa piksela na skriveni sloj. Skriveni slojevi su mjesta gdje se događa bit cijelog procesa (10). Oni primaju ulaze iz čvorova u prethodnom sloju i izvode izračune koristeći ulaz s kombinacijom cijelog skupa. Krajnji rezultat je izlaz (10). Primjena pametnih algoritama na sirove podatke može povećati produktivnost iz tri razloga: može povećati kvalitetu slike, omogućiti niz uzorkovanja dobivenih podataka čime će se smanjiti vrijeme skeniranja, omogućuje niže doze na CT-u (10).

U budućnosti se očekuje da će primjenom algoritama i potreba za invazivnim biopsijama biti svedena na minimum. Ono što je idealno je povezati sirove podatke skenera izravno sa očekivanim zdravstvenim rezultatom odnosno ishodom. Uz to što odmah dobijemo očekivanu dijagnozu, mogu se uključiti i druge informacije u skup podataka za razvoj algoritma kao mogući tretmani povezani s tim ishodom (10).

Kad osoba uči veze akson dendrit jačaju u njezinom mozgu (pozitivno) ili slabe (negativno) i tako čine da se osoba manje ili više ponaša na određeni način. Tako je mozak izuzetno plastičan na način da se prilagodi i funkcionira drugačije ovisno o signalu koje prima i nagradama ili kaznama koje su s tim povezani (20). Kada činimo nešto ispravno, kao odgovor na određeni događaj, znači da će neuronski putovi uključeni u odlučivanje značajno jačati, tako da idući put kada se pojavi takav događaj mozak vjerojatnije izvodi sličan odabir (20). Istodobno, ako se kao odgovor na određeni događaj nešto čini neispravnim, tada neuronski putovi uključeni u taj odabir slabe. Na taj način će mozak činiti manje pogrešaka (3). Ideje preuzete iz strukture biološke neuronske mreže i njezine metode učenja temeljne su sastavnice koje se primjenjuju u umjetnim neuronskim mrežama (3, 20). Mozgovi su tolerantniji na pogreške od računala. Greška na hardveru ili softveru koja izmjeni jedan bit može upropastiti čitavo računanje, ali moždane stanice umiru svakog trena bez ikakvog učinka na cjelokupnu moždanu funkciju (3). Umjetne neuronske mreže uče kako primati te analizirati podatke koji nisu linearni čime se približavaju ljudskome mozgu, a znanstvenicima koji se njima koriste uvelike pomažu u obradi i analizi velikog broja podataka koji vode ka rješavanju raznih medicinskih te ostalih znanstvenih pitanja (4). Danas se neuronske mreže primjenjuju u mnogim segmentima života poput medicine, bankarstva, strojarstva, geologije, fizike itd., najčešće za sljedeće zadatke:

- raspoznavanje uzoraka
- obrada slike
- obrada govora
- problemi optimizacije
- obrada nepreciznih i nekompletnih podataka
- simulacije

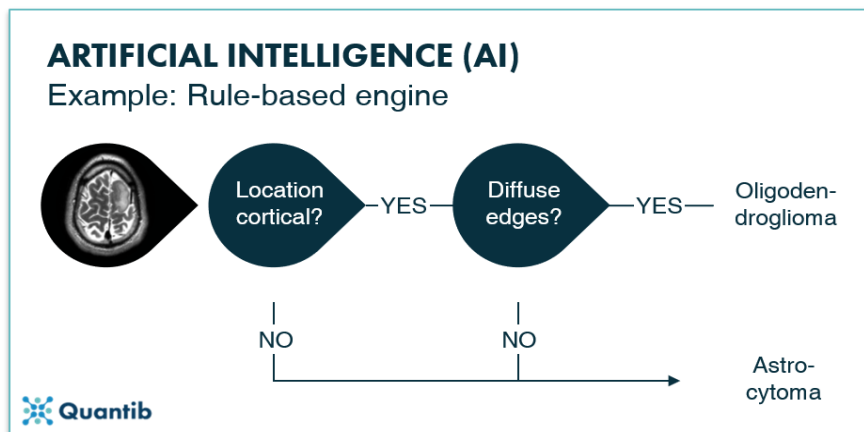
4.5. SUSTAVI POTPORE ODLUČIVANJU

Programski sustavi za podršku odlučivanju su zapravo računalni informacijski sustavi koji podržavaju organizacijske ili poslovne aktivnosti odlučivanja koje se temelje na rangiranju, sortiranju ili odabiru između alternativa (12). Navedeni sustavi služe kao pomoć ljudima pri donošenju odluka o problemima čije se stanje može brzo mijenjati i koji se ne mogu lako i precizno unaprijed definirati. Programski sustavi mogu biti potpuno računalni, ljudski ili kombinacija navedenih dvoje. Pravilno dizajniran sustav za podršku odlučivanju (*engl. Decision Support System, DSS*) je sustav temeljen na programskoj podršci koja je namijenjena za pomoć donositeljima odluka u prikupljanju korisnih informacija iz neobrađenih podataka, dokumenata i osobnog znanja ili poslovnih modela u svrhu prepoznavanja i rješavanja problema te donošenja odluka (12). Software za donošenje odluka treba koristiti kao potporu procesu, a ne kao pokretačku ili prevladavajuću vještinu (12).

4.5.1. ALGORITMI UMJETNE INTELIGENCIJE

Algoritam je skup uputa koje se mogu slijediti da bi se postigao određeni cilj ili riješio problem. Npr. recept za kuhanje je algoritam, kao i upute za pregled u bolnici. Računalni algoritmi su dijelovi koda koji imaju za cilj rješavanje specifičnih problema (10). Ako podatke postavimo u računalni algoritam, on izvodi izračune na temelju istih i daje izlaz tj. rješenje problema. U kontekstu radiologije algoritam je obično dio računalnog koda koji uzima medicinsku sliku kao ulaz i vraća odgovor kako bi radiologu pomogao pri analizi (10). Za izgradnju algoritma potreban je skup podataka, u radiologiji taj skup podataka predstavljaju medicinske slike, koje sa sobom nose niz informacija o pacijentu (10). Za svaku točku podataka moraju postojati oznake. Ako želimo izgraditi algoritam koji razlikuje tumore benigne i maligne, tad medicinske slike u skupu podataka moraju sadržavati tumore. Uz to se mora označiti je li tumor benigni ili maligni (Slika 5.). Postoji širok raspon metoda u području umjetne inteligencije, strojno učenje dio je ovog područja, a duboko učenje jedna metoda unutra strojnog učenja (10). Ideja i provedba algoritma je vrlo jednostavna, međutim ukoliko je problem detaljniji, to više pitanja treba postaviti a to znači da algoritam više nije jednostavan nego složen.

Često pitanja zahtijevaju i pod algoritme kako bi pronašli odgovor (10). Kad želimo znati ima li tumorska tvorba oštre rubove treba nam pod algoritam koji će odrediti vrstu rubova viđenu na slici (Slika 5.).



Slika 5. Pod algoritam sheme odlučivanja, programirana shema pitanja, pomažući u rješavanju glavnog problema, je li tumor oligodendroglioma ili astrocitom?

Izvor: <https://www.quantib.com/the-ultimate-guide-to-ai-in-radiology>

Na temelju obrazaca algoritam će podijeliti skup podataka u zasebne skupine npr. skenovi mozga s metastazama i one bez njih. Prednost učenja bez nadzora je u tome što ove metode mogu pronaći obrasce koje su skrivene ljudskom oku (10). Postoji i mogućnost između nadziranih i nenadziranih metoda, a to su polu-nadzirane metode. Označeni skup podataka koristi se u kombinaciji s većim skupom neoznačenih podataka. Označeni skup podataka koristi se za stvaranje algoritama i usmjerava ga u pravom smjeru, nakon čega ga upotpunjuje s pomoću neoznačenih podataka (10).

U teoriji, mreže bi trebale pamtit i vrlo duge nizove ranije obrađenih informacija, no nažalost to je u praksi ograničeno na samo nekoliko koraka unazad. Prepoznavanje uzoraka karakteristika je ljudskog mozga koja omogućava da sve što čovjek vidi i čuje oko sebe svrsta u određeni kontekst (4). Prepoznavanje uzoraka omogućava ljudskome mozgu da podatke, odnosno uzorke prikupljene iz okoline, bilo vidom, sluhom, njuhom ili opipom, poveže sa već prikupljenim podacima te ih razumije. Isto se nastoji dobiti razvijanjem sustava umjetne inteligencije.

4.5.2. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI

Komunikacija korisnik poslužitelj TPC (*engl. Transmission Control Protocol*) jedan je od osnovnih protokola unutar IP (*engl. Internet Protocol address*) grupe protokola. Korištenjem protokola TCP aplikacija na nekom od poslužitelja umreženog u računalnu mrežu kreira virtualnu konekciju prema drugom poslužitelju. Zatim putem ostvarene konekcije prenosi podatke (21). TPC garantira pouzdanu isporuku podataka u kontroliranom redosljedu od pošiljatelja prema primatelju. TCP protokol sadrži opise ulaza (portova) odnosno brojčane vrijednosti temeljem kojih računalo po prijemu podataka zna koju programsku potporu mora aktivirati te na koji način razmjenjivati podatke (21). Prednost je to što TCP protokol ima kontrolu isporuke i kontrolira grešku odnosno on traži ponavljanje izgubljenog ili ukoliko postoji neispravan paket podataka. Zadužen je za prvotnu uspostavu komunikacije između računala, bez čijih osnova ne bi ni umjetna inteligencija funkcionirala.

4.6. PRETRAŽIVANJE BAZA PODATAKA, ZASTUPLJENOST RADOVA O UMJETNOJ INTELIGENCIJI U RADIOGRAFIJI

Diplomskim radom na temu područja primjene umjetne inteligencije u radiografiji ponuđen je cjeloviti pregled znanstvene literature i istraživanja o tom polju, novosti, budući izazovi, osnovne definicije i objašnjenja koja su navedena prethodnim poglavljima rada. Prepreke, SWOT analiza i izražavanje dosadašnjih postignutih rezultata. Umjetna inteligencija i njena primjena ključni je fenomen ovog stoljeća. Fokus pretraživanja literature različitih baza podataka pokazao je odnos gdje se najviše primjenjuje umjetna inteligencija, gdje i kako pronaći relevantne radove na ovu izuzetno popularnu temu, koja polja radiografije su najviše pokrivena. Područja primjene umjetne inteligencije u radiografiji promatrani su kroz glavne točke, a to su; mamografija, kompjuterski potpomognuta detekcija CAD (*engl. Computer aided detection*), MR, CT, ultrazvuk, robotika, te su spomenuta i područja primjene u onkologiji gdje se metode medicinskog oslikavanja također primjenjuju i ostala područja. Uvođenjem tehnologija i povezivanja istih sa medicinom optimizira se proces rada u zdravstvu zdravstvenim ustanovama i smanjuju se troškovi.

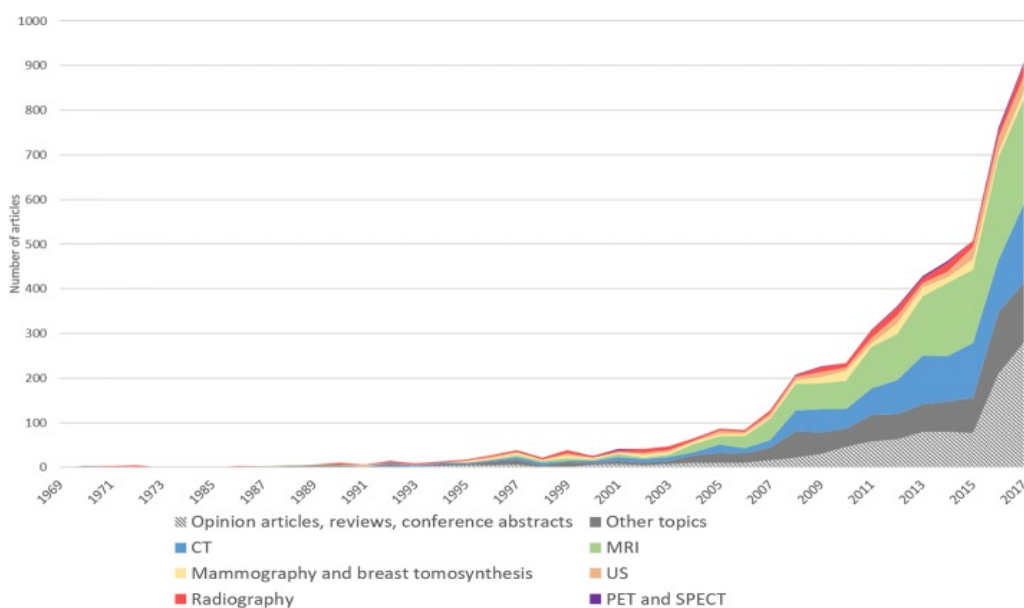
Analizirani su *Review* članci u posljednjih pet godina publiciranja. Tematika umjetne inteligencije je povezana sa izrazito povećanim znanstvenim objavljivanjem tj. publiciranjem poglavito u razdoblju od 2009. g do 2019. g. Kakva su opažanja, koja je vrijednost primjene umjetne inteligencije u radiografiji i medicini općenito dobili smo mnoge odgovore kroz vlastitu analizu te analizu sličnih radova. Mnogo je radova kojima možemo pristupiti i istraživati ih u znanstvenim bazama podataka, no koji je kvalitetan, koji rad će ponuditi informacije koje nama isključivo trebaju, kakva je zastupljenost teme koju pretražujemo sve su pitanja na koja smo nastojali odgovoriti. Pretražene su baze podataka Pubmed (MEDLINE), Scopus i Web Of Science. Navedene baze podataka predstavljaju organizirani skup podataka.

Da bismo lakše došli do određene literature koristimo i Booleove operatore ili logičke veznike (*or, and, not*) da bismo povezali odabrane pojmove za pretraživanje kako bismo pretragu proširili (*or*) ili pak suzili (*and, not*) pretragu unutar baze podataka te time pronašli relevantne informacije. *OR* traži zapise koji sadrže bilo koji od odabranih pojmova on proširuje naše pretraživanje. *AND* traži zapise koji sadrže sve odabrane pojmove te on sužava pretraživanje. *NOT* isključuje zapise koji sadrže odabrani pojam. Sa ciljem procjene sveobuhvatne iscrpne analize svih važnih istraživanja i znanja o navedenoj temi.

Svrha ovog dijela rada je prikazati zastupljenost *Review* članaka o umjetnoj inteligenciji u radiografiji u citatnim bazama Web of Science, Pubmed, Scopus. Promotreno je područje najviše zastupljenosti teme, analiza petogodišnjeg izdavanja, jezik izdavanja, te ukoliko su bile dostupne citatne karakteristike. Znanstvena produktivnost u analizi je iskazana brojem radova u bazama u promatranom razdoblju. Analiza je sažeta na broj publiciranja u posljednjih pet godina i ono što navedene baze kao alate dopuštaju (22). Najvažniji medicinski izvori u otvorenom pristupu su Pubmed-Medline najpoznatija medicinska bibliografska baza podataka. Dostupni su podaci od 1950, pristup bazi je besplatan (22).

Baze podataka kao sekundarni izvori informacija nezaobilazni su u vrednovanju znanstvenog rada i pri napredovanju u viša znanstvena i znanstveno nastavna zvanja. Znanstveni i stručni časopisi, znanstveni članci, pregledni radovi su samo dio znanstvenih publikacija ali se smatraju osnovnim i najvažnijim komunikacijskim medijem u suvremenoj znanosti i jedan su od glavnih izvora novih znanstvenih ideja (22, 5).

U ovom i sljedećim poglavljima bit će prikazan pregled stanja u publiciranju ove teme i u područja primjene iste, kao i prikaz primjera iz znanstvene literature koji pokazuju izrazit rast u interesu istraživanja i primjene ovog polja znanosti. Prikaz porasta broja publikacija na temu UI primijenjena u radiologiji pokazuje i studija: “*Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine*“ Autora; Filippo Pesapane, Marina Codari 2, Francesco Sardanelli. Navedena studija pokazuje značajan porast publiciranja iz godine u godinu, posebice posljednjih 5 godina (Slika 6.).

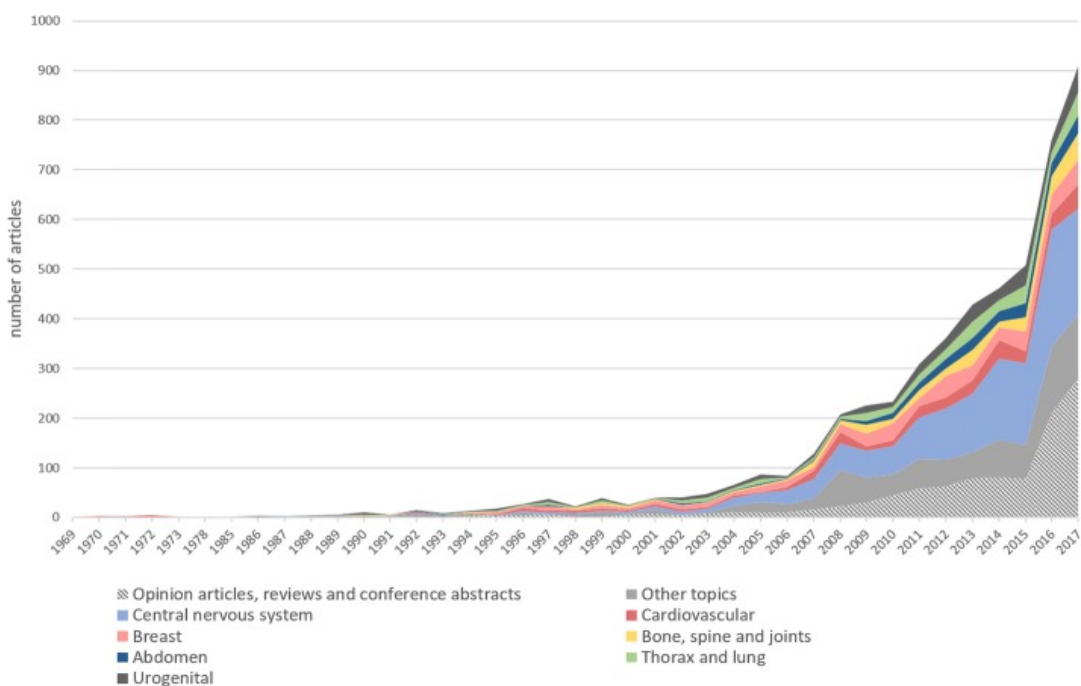


Slika 6. Prikaz broja publikacija kroz godine indeksiranih članaka na EMBASE. Raspodjela porasta objavljivanja znanstvenih članaka prema modalitetima u kojima je najviše zastupljena primijenjena UI
Izvor slike grafa dostupan na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205>

Broj znanstvenih članaka primjene UI po modalitetima snimanja istraživači su navedenoj studiji dobili prema pretraživanju EMBASE pomoću sljedećih upita za pretraživanje: ‘*artificial intelligence*’/exp. OR ‘*artificial intelligence*’ OR ‘*machine learning*’/exp. OR ‘*machine learning*’ OR ‘*deep learning*’/exp. OR ‘*deep learning*’) AND (‘*radiology*’/exp. OR ‘*radiology*’ OR ‘*diagnostic imaging*’/exp. OR ‘*diagnostic imaging*’) AND ([*english*]/lim).

Bazi su pristupili u travnju 2018. godine i za svaku godinu su dobili i modalitet snimanja gdje je najviše i najmanje primijenjena UI. Najviše znanstvenih publikacija pokriva područje primjene umjetne inteligencije u sljedećim modalitetima: magnetska rezonanca, kompjuterizirana tomografija, ultrazvuk, PET pozitronska emisijska tomografija, SPECT jednofotonska emisijska tomografija (2).

Prikazana su područja primjene umjetne inteligencije po anatomskim regijama tijela, intenzitet objavljivanja i količina kroz vremensko razdoblje. Značajan porast je ostvaren u posljednjih nekoliko desetljeća zabilježen u svim anatomskim regijama (Slika 7.). Intenzitet objavljivanja i područja zastupljenosti ove teme po anatomskim regijama dobili su istraživači pretraživanjem prema ključnim riječima: (*'artificial intelligence'/exp. OR 'artificial intelligence' OR 'machine learning'/exp. OR 'machine learning' OR 'deep learning'/exp. OR 'deep learning' AND ('radiology' OR 'diagnostic imaging')*)



Slika 7. Broj publikacija indeksiranih po godinama na EMBASE dobivenih pomoću upita za pretraživanje o pojedinim regijama. Izvor dostupan na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205/>

Za magnetsku rezonancu (MR) je objavljeno 2015., 2016. i 2017 prema postotcima 38%, 42%, 37% znanstvenih članaka. Kompjuteriziranu tomografiju (CT) po godinama 29%, 21%, 28%. Ultrazvuk također zauzima značajno mjesto u primjeni i istraživanju umjetne inteligencije 6%, 6%, 5%. Cjelokupno opće polje radiografije 3%, 3%, 3%. Područje mamografije i tomosinteze dojki 5%, 2%, 3%. PET još uvijek ima nedovoljno publikacija 0%, 1%, 1%, te u drugim poljima 18%, 25%, 21%.

Ukupan broj članaka na temu UI u medicinskom slikanju u 2015. je 43., 2016. njih 551. i 2017. 628. znanstvenih članaka (2). Broj članaka indeksiranih na EMBASE prema radiološkoj subspecijalnosti ili dijelu tijela. Najizraženiji je kod primjene u središnjem živčanom sustavu po godinama (38%, 43%, 34%) slijede ga kosti, lokomotorni sustav (7%, 7%, 9%), kardiovaskularni sustav (6%, 6%, 8%), te dojke (10%, 7%, 8%). Potom urogenitalni sustav (9%, 5%, 8%) i primjena u radiografiji abdomena (6%, 5%, 6%). Navedenim člankom prikazan je značajan porast publikacija za ovu temu, drastično povećan s oko 100 - 150 godišnje u razdoblju 2007. - 2008. na 700 - 800 godišnje u razdoblju 2016. - 2017. godine. Magnetska rezonanca (MR) i kompjuterizirana tomografija (CT) zajedno čine više od 50% trenutnih članaka na ovu temu (2).

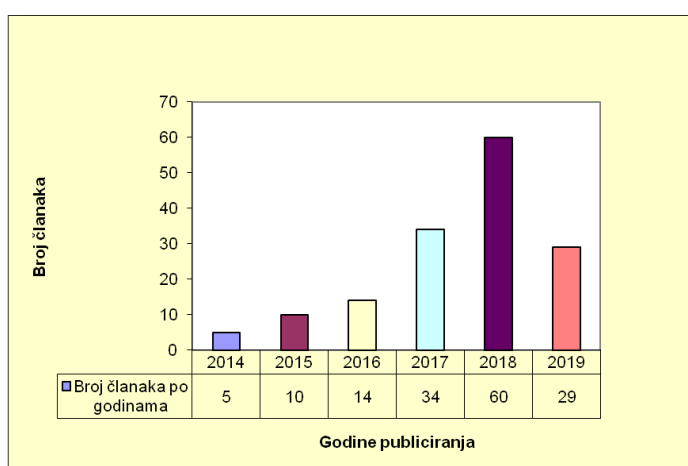
4.7. REZULTATI PREGLEDA BAZA PODATKA

4.7.1. PUBMED

Tražilica koja primarno pristupa MEDLINE bazi podataka referencija i sažetaka biomedicinskih tema. MEDLINE pruža relevantne informacije iz područja zdravstva i biomedicine. Baza podataka je skup ustrojjenih, logički povezanih zapisa ili datoteka koje sadrže zapis sa međusobno povezanim podacima. Primjena umjetne inteligencije predstavlja revoluciju i donijela je i donosit će korist i dalje u društvenom i svakom drugom aspektu čovjekova života, a ono što je za pacijenta najvažnije korist u bržem, kvalitetnijem oslikavanju, analiziranju slika i donošenju konačne dijagnostičke informacije i terapije. Razlog pristupa PubMed-u jest što je za studente jedna od najdostupnijih i korištenih tražilica baze MEDLINE.

Pristupom tražilici PubMed-a, početkom lipnja 2019. (3.6 - 7.6 2019) preko Advanced Search Builder-a pretražena je željena tema (Primjena umjetne inteligencije u radiografiji). Uz korištenje ključnih riječi „*radiology*“, „*radiography*“, „*artificial intelligence*“, „*deep learning*“ i „*machine learning*“ te uz upotrebu odgovarajućih Booleovih operatora dobili smo rezultate navedene niže u tekstu. Baze podataka sadrže zapise o dokumentima, a tek ponekad i cjelovite dokumente, ono što je bio cilj pretrage jest pronaći *Review* članke u posljednjih 5 godina publicirane, slobodnog pristupa za navedenu temu rada, te promotriti kretanja rasta ili pada publiciranja i interesa ove teme, istu literaturu analizirati da bismo prikazali konkretno primjenu umjetne inteligencije u području radiografije. Baze podataka koje možemo naći u knjižnicama, gotovo uvijek, obavezno sadrže i polja za bibliografski opis dokumenata, PubMed tražilici kao i Web of Science bazi pristupljeno je preko osobnog računala, dok je za pregled Scopus baze bio potreban odlazak u Sveučilišnu knjižnicu u Splitu.

Preliminarnom pretragom preglednih radova objavljenih u posljednjih 5 godina (2014 - 2019) PubMed-a prema ključnim riječima dobilo se 5000 članaka u posljednjih 5 godina, *Review* članaka 399 dodavši tome filtre za tekstove dostupne u cijelosti u konačnici dobijemo 152 rezultata tj. *Review* članaka (Slika 8.). Prikazan je porast publikacija od 2015. do 2019. za temu umjetne inteligencije u radiografiji prema pretraživanju ovih pojmova: (((*artificial intelligence*) OR *machine learning*) OR *deep learning*)) AND ((*radiology*) OR *radiography*)



Slika 8. Prikaz znanstvene produktivnosti iskazane brojem radova u bazama u promatranom razdoblju. (152 *Review* članka, full text, posljednjih 5 godina). Rezultati prikazani grafom.

Produktivnost i primjena istraživanja umjetne inteligencije u području medicine poglavito u radiologiji je u porastu što pokazuje i pretraživanje baze MEDLINE preko tražilice PubMed. Pretraživanje preko Advanced Search Builder prikazano je u tablici 1.

Tablica 1. Pretraga preko Advanced Search Builder PubMed.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

History

[Download history](#) [Clear history](#)

| Search | Add to builder | Query | Items found | Time |
|---------------------|---------------------|--|-------------------------|----------|
| #10 | Add | Search (((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning)) AND ((radiology) OR radiography) Filters: Review; Free full text; published in the last 5 years | 152 | 11:12:10 |
| #9 | Add | Search (((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning)) AND ((radiology) OR radiography) Filters: Review; published in the last 5 years | 399 | 11:12:03 |
| #7 | Add | Search (((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning)) AND ((radiology) OR radiography) Filters: published in the last 5 years | 5000 | 11:12:01 |
| #8 | Add | Search (((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning)) AND ((radiology) OR radiography) Filters: Free full text; published in the last 5 years | 2085 | 11:11:59 |
| #6 | Add | Search (((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning)) AND ((radiology) OR radiography) | 10220 | 11:11:26 |
| #5 | Add | Search (radiology) OR radiography | 1776981 | 11:11:11 |
| #4 | Add | Search ((artificial intelligence) OR deep learning) OR machine learning | 108631 | 11:10:57 |
| #3 | Add | Search machine learning | 30855 | 11:10:49 |
| #2 | Add | Search deep learning | 8354 | 11:10:42 |
| #1 | Add | Search artificial intelligence | 89679 | 11:10:35 |

4.7.2. WEB OF SCIENCE, WOS

Najprestižniji je izvor publikacija i podataka za scientometrijska istraživanja upravo zbog toga je znanstvenicima prioritet objaviti rezultate svojih istraživanja u časopisima koje indeksira WOS. WOS je multidisciplinarna bibliografska i citatna baza podataka koja se sastoji od 3 citatna indeksa. Napredno pretraživanje WOS nudi nam ciljano pretraživanje prema određenim poljima, prema naslovu rada kad nas isključivo zanima rad po određenoj temi, prema ključnim riječima u tekstu. Dostupna je za pregled, potpuno besplatna moguća je vanjska registracija. Web of Science (WoS) jedan je od proizvoda Thomson Reutersove platforme Web of Knowledge (WoK). WoK je danas glavna istraživačka platforma koja pomaže u pronalaženju, analizi i razmjeni informacija u svim znanstvenim područjima (22).

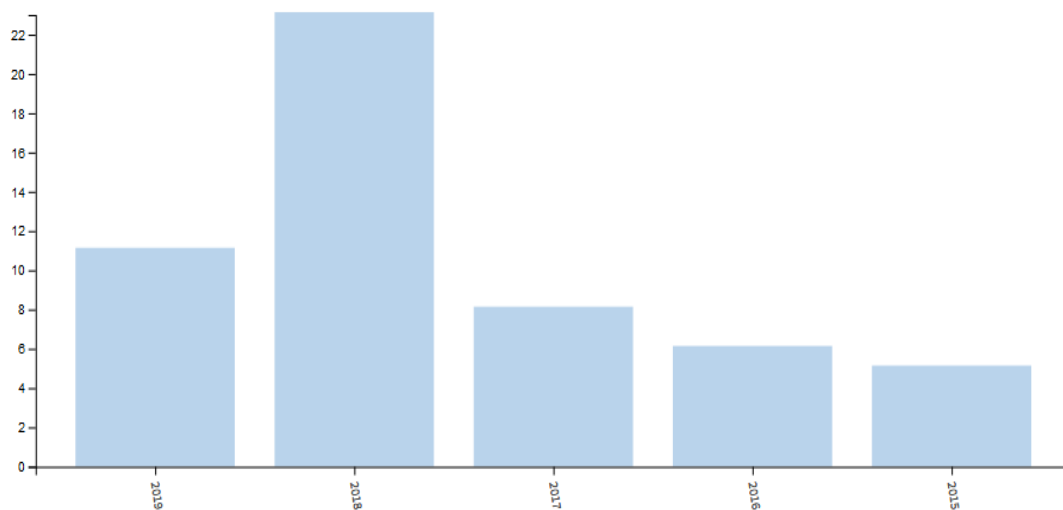
Preliminarnom pretragom preglednih radova objavljenih u posljednjih 5 godina (2015. – 2019.) WOS-a provedeno 3.6 - 7.6 2019. Prema ključnim riječima u tablici 2. prikazan odabir kojim se dobio određen broj članaka. Za All Databases 3732 rezultata, od kojih je *Review* članaka bilo 184, a otvorenog pristupa je njih 53. Analiza koju nudi WOS detaljnija je od one s PubMeda za neregistrirane korisnike pa je prikazana dalje u radu i znanstvena produktivnost odnosno publikacije po godinama izdavanja, jezik izdavanja, H - indeks, znanstveno područje. Ova pretraga pokazuje da je od 53 u cijelosti dostupna rada njih 42 spada u isključivo Radiologiju i nuklearnu medicinu i medicinsko oslikavanje. Ono što je ključno je oblikovanje upita za pretraživanje područja primjene umjetne inteligencije u radiografiji (Tablica 2.).

Tablica 2. Prikaz postupka pretraživanja Web of Science preko Advanced Search.

Izvor: https://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=UA&SID=C5NqK9jzOtuh1W913g9&field=PY_PublicationYear_PublicationYear_en&yearSort=true

| | | | | |
|------|---------|--|--|--|
| # 10 | 53 | #7 AND #6 Refined by: DOCUMENT TYPES: (REVIEW) AND Open Access: (OPEN ACCESS) Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 9 | 184 | #7 AND #6 Refined by: DOCUMENT TYPES: (REVIEW) Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 8 | 3,732 | #7 AND #6 Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 7 | 181,161 | #5 OR #4 Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 6 | 243,534 | #3 OR #2 OR #1 Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 5 | 54,695 | TS=radiography Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 4 | 134,420 | TS=radiology Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 3 | 50,864 | TS=deep learning Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 2 | 186,359 | TS=machine learning Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| # 1 | 101,458 | TS=artificial intelligence Databases=WOS, BCI, CCC, DRCI, DIIDW, KJD, MEDLINE, RSCI, SCIELO, ZOOREC Timespan=Last 5 years Search language=Auto | | |
| | | | <input type="radio"/> AND <input type="radio"/> OR <input type="button" value="Select All"/> <input type="button" value="Combine"/> <input type="button" value="Delete"/> | |

Produktivnost i primjena istraživanja umjetne inteligencije u području medicine poglavito u radiologiji je u porastu, što je pokazano i preko ove baze. Utvrđeno je da je u području radiologije objavljeno više radova nego je to u drugim područjima znanosti. Znanstvena produktivnost u smislu broja objavljenih *Review* članaka najviša je za sad u 2018. godini (Slika 9.).

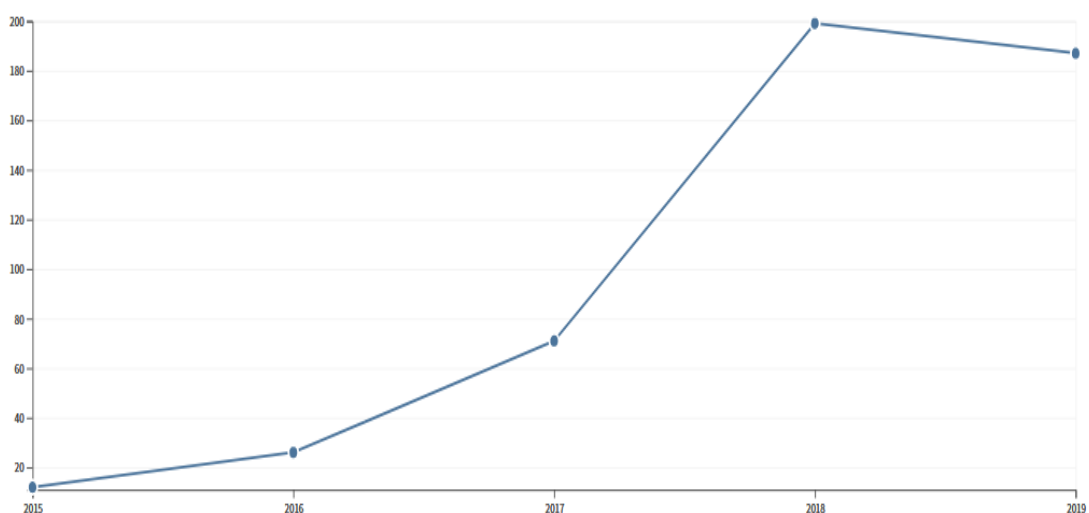


Slika 9. Prikaz rezultata znanstvene produktivnosti prema godina publiciranja za *Review* članke u 5 godina s dostupnim cijelim tekstem (53)

Izvor:https://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=UA&SID=C5NqK9jzOtuh1W913g9&field=PY_PublicationYear_PublicationYear_en&yearSort=true

Svi su *Review* članci dostupnog teksta u cijelosti napisani na engleskom jeziku. Od baze podataka najzastupljenija je MEDLINE (51 članak). H-index je pokazatelj konstantnosti prihvaćenosti radova objavljenih u nekom časopisu, radova nekog znanstvenika ili ustanove u znanstvenoj zajednici, H indeks za 53 članka je u prosjeku 10. Prikupljenim podacima vidljivo je i povećanja citiranosti radova na temu umjetne inteligencije u radiografiji (Slika 10.).

Sum of Times Cited per Year



Slika 10. Zbroj koliko puta su citati navedeni godišnje. Izvor: https://apps.webofknowledge.com/CitationReport.do?product=UA&search_mode=CitationReport&SID=C5NqK9jzOtuh1W913g9&page=1&cr_pqid=15&viewType=summary

4.7.3. SCOPUS

Scopus je citatna baza podataka koja indeksira izvore iz cijeloga svijeta, a uključuje više od 69 milijuna zapisa za 21.950 recenziranih časopisa, više od 560 serija knjiga, 8 milijuna zbornika s konferencija te više od 39 milijuna патената (23). Scopus je najveća citatna baza podataka koja je na raspolaganju znanstvenicima i uključuje preko 21,500 naslova od preko 5 000 međunarodnih izdavača. Proizvodi je poznati izdavač STM literature Elsevier (23, 24). Putem baze podataka Scopus može se pratiti citiranost pojedinih autora, radova i slično.

Pretraga Scopus baze prema ključnim riječima u Advanced Search. Preliminarnom pretragom preglednih radova objavljenih u posljednjih 5 godina (2014. – 2019.) Scopus-a prema ključnim riječima dobilo se 10 703 članaka u posljednjih 5 godina, *Review* članaka 811 dodavši tome filtre za tekstove dostupne u cijelosti u konačnici dobijemo 242 rezultata tj. *Review* članaka.

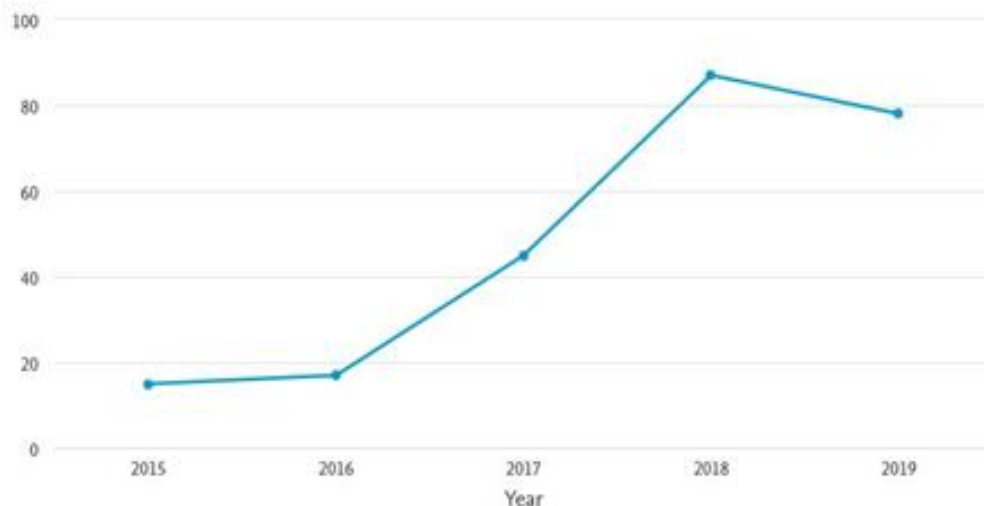
Prikazan je porast publikacija od 2015. do 2019. za temu umjetne inteligencije u radiografiji prema pretraživanju ovih pojmova niže navedenih pojmova:

Artificial AND intelligence OR machine AND learning OR deep AND learning AND radiology OR radiography AND (LIMIT-TO(PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) 10 703 dokumenta

Artificial AND intelligence OR machine AND learning OR deep AND learning AND radiology OR radiography AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018 OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016)OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) 811 dokumenata

*Artificial AND intelligence OR machine AND learning OR deep AND learning AND radiology OR radiography AND(LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019)OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) AND(LIMIT-TO(DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO(ACCESSTYPE(OA))) **Otvorenog pristupa 242***

Stalni porast broja indeksiranih radova na temu primjene umjetne inteligencije pokazalo je i pretraživanje posljednje baze podataka Scopus (Slika 11. i 12). Od 2015. godine do 2019. godine zabilježen je stalni porast u objavljivanju, što pokazuje kako je polje umjetne inteligencije istraživačima izrazito specifično i interesantno. Značajno se u njega ulaže i nastoji dobiti još više podataka i radova kako bi u potpunosti zaživjela nova era medicine.

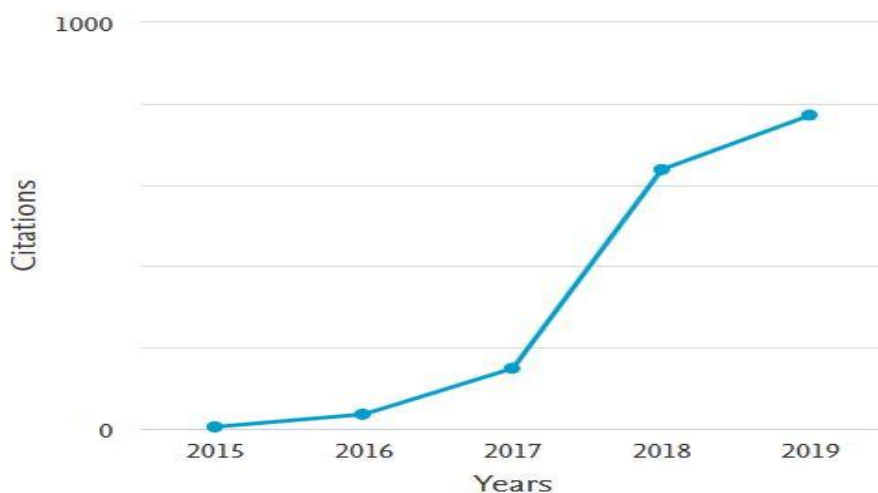


Slika 11. Prikaz rezultata znanstvene produktivnosti kroz graf prema godina publiciranja za *Review* članke u 5 godina s dostupnim cijelim tekstom
Izvor: <http://lib.irb.hr/web/hr/baze-podataka/item/747-scopus.html>

| Year ↓ | Documents ↑ |
|--------|-------------|
| 2019 | 78 |
| 2018 | 87 |
| 2017 | 45 |
| 2016 | 17 |
| 2015 | 15 |

Slika 12. Prikaz rezultata znanstvene produktivnosti prema godina publiciranja za *Review* članke u 5 godina s dostupnim cijelim tekstom.
Izvor: <http://lib.irb.hr/web/hr/baze-podataka/item/747-scopus.html>

U razdoblju od 2015. godine do 2019. godine baza podataka Scopus pokazuje i zbroj citiranosti radova. Slika 13. pokazuje taj zbroj i ukazuje na značaj i kvalitetu radova obzirom na visoku citiranost. Važnost i pozitivni pomaci iz godine u godinu u primjeni umjetne inteligencije su primjetni i prihvaćeni u znanosti te su poticaj za daljnja istraživanja.



Slika 13. Zbroj koliko puta su citati navedeni godišnje. Izvor: <http://lib.irb.hr/web/hr/baze-podataka/item/747-scopus.html>

Stalni porast broja indeksiranih radova se može obrazložiti i shvaćanju da je objavljivanje radova vrlo važno radi napredovanja pojedinca u akademskom i znanstvenom smislu ali i sustavnog stvaranja veće i kvalitetne baze znanja posebno ovog područja koje stvara novu eru medicine i same radiologije. Svrha rada je bila prikazati kako je ova tema izuzetno interesantna istraživačima i da je u izrazitom porastu njeno publiciranje. Specifičnosti istraživačkog rada unutar ovog polja konstantno privlače veliki broj istraživača, međutim potrebno je uložiti mnogo vremena za istraživanja te velika financijska sredstva. Kako primjena umjetne inteligencije pomaže promijeniti svijet. Postoji dovoljno dokaza i podataka, međutim još uvijek je to polje koje je u povojima te su potrebna mnoga daljnja istraživanja.

Ono čime je znanost određena jest sistematizirano i argumentirano znanje o prirodi i društvu, temelji se na primjeni objektivnih znanstvenih metoda te su joj cilj i svrha spoznaja zakona i zakonitosti o prirodi i društvu i maksimiziranje učinkovitosti ljudske prakse (25). Znanstvena teorija nije konačna i dovršena jer je obilježava djelomičnost. Ovo je rad u kojem je ponuđeno kvalitativno ispitivanje i razumijevanje primjene umjetne inteligencije. Pokazano je povećano publiciranje teme primjena umjetne inteligencije u radiografiji. Pregledom Scopus, PubMed, Web of Science baza utvrđeno je da je prisutan značajan porast i interes u publiciranju, posebno u posljednje dvije godine (Tablica 3.). Uočeno je da publiciranje u ovoj temi imalo linearan rast, međutim prije 10 godina dogodio se eksponencijalni skok u publiciranju.

Tablica 3. Analiza konačni pregled literature kroz sve tri baze u posljednjih 5 godina:

| Baza podataka | N | Review | Full tekst |
|----------------|-------|--------|------------|
| PubMed | 5000 | 399 | 152 |
| Scopus | 10703 | 811 | 242 |
| Web Of Science | 3732 | 184 | 53 |

4.7.4. KONAČNI PREGLED

U svijetu znanosti analizom i vrednovanjem znanstvenog rada stiče se i odgovarajući ugled. Danas većinu vodećih svjetskih časopisa izdaju komercijalni izdavači i to je postao veliki posao koji donosi i značajan profit, prema nekim istraživanjima i preko 40%. Preko polovine tržišta časopisa dolazi iz prirodnih znanosti, medicine, tehnike pokrivaju ih četiri izdavačke kuće – Elsevier, Springer, Wiley i Taylor and Francis (26). Razvojem računalstva došlo je do sve većeg razvoja i same znanosti, samim tim razvojem teško je ne pitati se koji su radovi kroz povijest najznačajniji, jesu li radovi prijašnjih znanstvenika više utjecali na ljudsku znanost i zajednicu ili radovi suvremene znanosti. Znanost je kompleksna ljudska djelatnost koja se temelji na stvaralačkoj snazi, inventivnosti i znanju znanstvenika. Svrha znanosti je kontinuirano stvaranje novih znanja kako bi došli do novih velikih spoznaja. Danas se tvrdi da je taj rast linearan i najčešće ovisi o ulaganjima u istraživanje i razvoj (26, 27).

Pregled literature pokazuje rast u publiciranju ove teme ujedno pokazuje velika ulaganja u ovo polje, razvoj te interes u skoroj primjeni u globalnoj praksi. Uglavnom je slučaj da je interes stručnjaka koji se bave znanstvenom politikom usmjeren na financijski aspekt znanstvenog rada, odnosno aspekt planiranja ulaganja i razvoj znanosti kao konkretne djelatnosti. Ova tema umjetne inteligencije uvelike je zastupljena što pokazuje pregled te razni radovi o primjenu UI u radiografiji. Znanost stalno napreduje, dolazi do novih otkrića, novih saznanja koji pospješuju i olakšavaju svakodnevni život. Znanstvene baze su izvorište velikog broja informacija i podataka i stoga je važno što više objavljivati ali ne zaboraviti na važnost kvalitete pri objavljivanju (28). Rezultati motiviraju i potiču na daljnja istraživanja ovog polja znanosti.

4.8. SWOT PROCJENA

Snage i slabosti primjene umjetne inteligencije

| UNUTARNJA PITANJA | VANJSKA PITANJA |
|---|---|
| <p>SNAGE</p> <p>Unaprijeđena pacijentova sigurnost, veća učinkovitost u radu, drugo mišljenje, brzina kvaliteta, smanjuje lažno pozitivne nalaze, izdvajanje dosad nedostupnih informacija sa slika,</p> | <p>PRILIKE</p> <p>Pozitivan utjecaj na rad, globalna primjena, automatizacija, veća posvećenost pacijentu, u konačnici smanjenje troškova, smanjenje doze zračenja</p> |
| <p>SLABOSTI</p> <p>Korisnički otpor, slaba prilagođenost sustavu umjetne inteligencije, algoritmi za učenje, baze podataka za specifične rijetke bolesti, tehnički izazovi</p> | <p>PRIJETNJE</p> <p>Zakonska usklađenost, odgovornost, manjak pacijentovog povjerenja, položaj radiologa na tržištu</p> |

SWOT analiza je pri vrhu ljestvice korištenih tehnika procjene, ona predstavlja temelj za prikupljanje i organiziranje informacija za željeno definiranje problema. Unutar četiri kvadranta SWOT analize definiramo unutarnja i vanjska pitanja. To su unutarnja pitanja snage i slabosti te vanjska pitanja prijetnji i prilika.

Unutrašnja pitanja snage, koja podrazumijeva ulaganje u informacijske sustave, sadrži unaprijeđenu sigurnost pacijentovih podataka, veću efikasnost i trenutno ulaganje u informacijske sustave digitalnu opremu i softvere umjetne inteligencije. Unutrašnja pitanja slabosti uključuju manjak integracije sustava umjetne inteligencije, te sporu prilagođenost novim sustavima, a samim time i pružanje otpora korisnika sustava novim tehnologijama. Pitanja slabosti mogu povećati ili smanjiti vanjska pitanja prijetnji koje uključuju manjak povjerenja korisnika zdravstvenih usluga odnosno pacijenata, povećano izdvajanje financijskih sredstava za primjenu sustava umjetne inteligencije, zakonsku usklađenost i sigurnost pacijenta.

Vanjske prilike uključuju povećano korištenje umjetne inteligencije, što je povoljno za radnu okolinu, obzirom da nema korištenja papirologije, ubrzan je tijek rada, automatiziran. Snaga ukazuje da je umjetna inteligencija snažan sustav za primjenu u svim medicinskim poljima. Slabosti ukazuju na dijelove informacijskog sustava koje zahtijevaju unaprijeđenje, razvoj algoritama. Snaga umjetne inteligencije i njenog sustava je njegovoj velikoj bazi podataka, dostupnoj bilo kada i bilo gdje. Na jednostavan način arhiviraju se podaci, slike i lako su dostupni. Snaga umjetne inteligencije u zdravstvu jest da donosi olakšanu administraciju, brže i kvalitetnije pružanje skrbi za pacijenta, kvalitetniju i jasniju dijagnozu i postupak. Pristup ogromnim fondovima informacija i znanja pruža značajne uštede, te omogućuje znanstvenu suradnju.

Slabosti umjetne inteligencije jest da su pojedina područja slabo ili nikako umrežena, otpor nekolicine djelatnika, privatni podaci o pacijentu slabo su zaštićeni, potrebna je edukacija osoblja jer su često kadrovi informacijski i tehnološki na niskoj razini edukacije. Nedovoljna financijska snaga, nedovoljna je osviještenost javnosti. Prilike su pružanje razmjene iskustava pacijenata i zdravstvenih djelatnika. Poboljšanje radnog vijeka, posvećivanje drugim obvezama, drugo mišljenje.

Prijetnje su ograničena sredstva za primjenu svima, gubitci informacija iz baza, načini učenja, greške algoritama, zakonska neusklađenost, računalni virusi, niska društvena spremnost za prihvaćanje umjetne inteligencije.

Unutarnja pitanja snage unaprijeđena pacijentova sigurnost

Osnovni princip profesionalnog ponašanja u zdravstvu diljem svijeta jest poštivanje pacijentove sigurnosti te je njeno unaprjeđivanje primarno na svim razinama zdravstvene zaštite. Povećanje kvalitete sigurnosti pacijentovih podataka postiže se dobrom strateškom inicijativom unutar informacijskih sustava. Zdravstveno osoblje može donijeti bolje odluke o dijagnozi za pacijenta i liječenju pacijenta na temelju bolje dostupnosti medicinskim informacijama u bilo kojem trenutku čime se smanjuju pogreške zbog nepotpune i nedovoljne informiranosti u trenutku odluke. Postojeći informacijski sustav uz primjenu algoritama umjetne inteligencije na računalu doprinosi unaprjeđenju pacijentove sigurnosti što se očituje boljom kvalitetom.

Veća učinkovitost u procesu rada

Podaci se unutar sustava umjetne inteligencije prenose brže, pametnije i jeftinije. Znatno se unaprjeđuje učinkovitost i povećava produktivnost time što se smanjuje i količina utrošene papirologije i dupliciranje nekih postupaka koji su nepotrebni. Također, pacijentu je olakšano pravo na drugo mišljenje za koje ne mora ići do udaljenog stručnjaka.

Korisnički otpor

Postojeći informacijski tehnološki sustav u bolnicama diljem svijeta pokazao se relativno dobrim te je glavna točka otpora sam korisnik koji je naučio raditi olakšano te su rezultati kojima dosada upravlja zadovoljavajući, međutim nanovo spremnost za implementaciju UI sustava koji nadmašuje čovjeka moguće da će stvoriti probleme. Osoblje negoduje na promjenu u tijeku rada i promjenu u samom sustavu iako je zaključak svih istraživanja do sada da je primjena umjetne inteligencije dobra po pitanju sigurnosti i smanjivanju pogrešaka i uvelike pomaže i zdravstvenim djelatnicima i pacijentima.

Spora prilagođenost sustavu

Najveći problem čine veliki financijski izdatci koji su potrebni za implementaciju sustava umjetne inteligencije, što je i usporava. Uz to problem je prilagoditi sustav za specifične i rijetke bolesti koje se još moraju nadopuniti i nadograditi. Bolnice su danas većinski digitalne i prilagođavaju se na moderniziranje te su klinički podatci u medicinskim dokumentima pacijenata lako dostupni. Upravo ovo čini osnovu za vanjske posebne prilike koje rezultiraju prijetnjama.

Razvijanje zajedničkog standarda

U obradi medicinskih podataka najvažniji je razvitak standarda za izmjenu i klasifikaciju podataka. Sustav za zajedničke standarde za sve područne i zdravstvene mreže sa uobičajenim načinom izmjene podataka i zaštite pacijentovih podataka. Takav način komunikacije je ključan da bi sustav opstao.

Vanjska pitanja prijetnji - zakonska usklađenost

Nabavljači, osiguravatelji i zaposlenici koji rade na sustavima umjetne inteligencije trebaju poštivati administrativna pravila o zaštiti privatnih informacija. Postoje dva pravila koja treba poštivati. Pravila privatnosti i pravila sigurnosti. Pravilo privatnosti je ono pravilo koje donosi zakone o prikupljanju, korištenju i razotkrivanju osobnih zdravstvenih informacija. Pravilo sigurnosti nam predstavlja tri razine sigurnosti. To su: administrativna, fizička i tehnička razina.

Manjak pacijentova povjerenja

Nalazi napisani rukom, brojne bilješke te korištenje skraćena, a ponajviše slaba čitljivost nalaza rezultira pogreškama u radu zbog umora radiologa i manjka koncentracije. Radiolozi ne vide ono što vidi sustav UI. UI sustavi imaju rješenja koja nude savjete kako zabilježiti takve podatke te osigurati točnost podataka i laku dostupnost. Takva rješenja treba iskoristiti za osiguranje maksimalne sigurnosti pacijenta i zadržavanja pacijentovog povjerenja, da bi povjerenje pacijenta poraslo. Ovime je suprotstavljano tradicionalno s novim koje iskazuje više povjerenja nego tradicionalno.

Trošak

Najveću prepreku implementaciji sustava umjetne inteligencije diljem svijeta, čine upravo povećani troškovi koje je potrebno izdvojiti. Također za ovo kompletni zdravstveni sustav mora imati implementiran informacijski sustav.

4.9. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U MEDICINE

Tijekom prošlosti je daleko najveći dio medicinske povijesti bio obilježen gotovo ne promijenjenim načinom tumačenja bolesti i gotovo ne promjenjivim metodama liječenja. Suvremeni pristup bolesniku je nadograđen na tisućljeća stabilne tradicije. Oduvijek je cilj medicine i medicinskih postupaka bio produženje života i smanjenje patnje (8). Postupci da informacije pohranimo van ljudskog tijela leže u instinktivnoj ljudskoj aktivnosti. Bez previše napora ili učenja dolazimo do potrebnih podataka koje vrlo lako možemo provjeriti i primijeniti bez da ih za kasnije naučimo. Za čovječanstvo se zbog toga rađa potencijalna opasnost od općeg mlitavljenja duha i niveliranja intelektualne razine praćene gušenjem identiteta stotinama milijuna pasivnih potrošača prosječne medijske ponude (8). Rani rezultati su vrlo obećavajući, u nekim slučajevima UI nadmašuje ljudske mogućnosti. U potrazi za točnom, proaktivnom, sveobuhvatnom brigom za pacijenta te smanjivanjem administrativnih opterećenja UI je u medicini postepeno prihvaćena. Opsežna ulaganja u infrastrukturu, upravljanje podacima, unutarnji razvoj softvera znače da je primjena umjetne inteligencije postavila temelje i samo je potreban sljedeći korak prema njenim novim i poboljšanim strategijama za pružanje bolje zdravstvene skrbi (9)

Na raspolaganju su nam podaci iz svih znanstvenih i tehničkih disciplina. Znanje je pohranjeno u velikim specijaliziranim bazama podataka. **Informacija je postala osnovni resurs u društvu.** Danas je zdravstvo predodređeno dijagnostičkim uređajima i analizi dobivenih rezultata. Time je naravno dobiven i bolji uvid u stanje bolesnika, poboljšana opća zdravstvena skrb. Ljudi su tim postupkom svedeni na brojeve umjesto na osobnosti, ali sama analiza kao i pretrage postale su značajno brže i jednostavnije, na raspolaganju su i novi postupci, životni vijek je produljen i zdravstveno stanje ljudi je poboljšano (29).

Sve skupa pridonosi i pozitivnom učinku na smanjenje troškova. Primjeri dobrobiti već su zabilježeni u kvantificiranju plućnih bolesti, poboljšane procjene raka pluća, otkrivanju abdominalnih bolesti, kardiovaskularnih bolesti, predviđanje aneurizme, otkrivanje oštećenja bubrega (30).

4.9.1. KLINIČKI SUSTAVI PODRŠKE ODLUČIVANJU

Sustav zdravstvene informacijske tehnologije (*engl. Clinical Decision Support Systems, CDSS*) koji je osmišljen kako bi liječnicama i drugim zdravstvenim djelatnicima pružio podršku kliničkim odlukama (12). U početku je sustav djelovao tako da bi netko od osoblja unio informacije i čekao CDSS da izda pravi izbor kojeg bi osoblje naposljetku izabralo tj. potvrdilo (12). Ovaj način je odbačen jer su se događale greške u računalnom programu zbog kojeg se mogla donijeti kriva dijagnoza, sada djeluje tako što izda svoj rezultat i savjetuje osoblje koje u konačnici na temelju znanja i iskustva izabere pravi rezultat za odlučivanje. Ovakvim se načinom rada postiže suradnja računalne analize i precizne obrade podataka i stručnog mišljenja medicinskog osoblja koje zapravo donosi odluku. Podržavanje kliničke dijagnoze i procesa planova liječenja te poticanje primjene najboljih praksi daje smjernice za specifična stanja pacijenta (12). Sustav za potporu dijagnosticiranja i stvaranja odluke (*engl. Diagnosis Decision Support System, DDSS*) Na temelju podatka o pacijentu predlaže skup odgovarajućih dijagnoza. Pomogao bi odrediti odgovarajuću količinu zračenja i optimalne kutove snopova zraka u radioterapiji za pacijente s tumorom mozga; medicinski fizičari i onkolozi bi tada pregledali preporučeni plan liječenja kako bi utvrdili njegovu održivost (12).

CDSS koji se ne temelji na znanju

Ovi sustavi ne primjenjuju nikakve podatke iz baze znanja, ali koriste drugu vrstu umjetnog znanja naziva strojno učenje. Pojam strojno učenje znači da će stroj naučiti iz prošlih iskustava i prethodne lekcije koju daju stručnjaci. Algoritam prvo određuje svojstva skupa rješenja za neki problem. Svako rješenje koje se generiralo će se ponovno spajati, mijenjati i ponoviti postupak. Rotacija pronalazjenja rješenja se zaustavlja tek kada se pronađe odgovarajuće rješenje.

Potrebno je mnogo kvalitetnih, korisnih i djelotvornijih dokaza koji se neprestano ažuriraju (12). Oduvijek je bilo i tako će ostati da je u konačnici potreban ljudski donositelj odluka kao komponenta sustava podrške odlučivanju za integraciju sa računalnim sustavima. CDSS koji su usmjereni na dijagnostičke zadatke pronašli su uspjeh, ali su često vrlo ograničeni u implementaciji i opsegu. U bolnici Sveučilišta u Leedsu je podnesen izvještaj da je u 91.8% slučajeva izražena točna dijagnoza, u usporedbi sa osobljem klinike čiji je uspjeh iznosio 79.6% (12). Tehnički izazovi i prepreke za implementaciju CDSS se susreće sa mnogim zahtjevnim tehničkim izazovima u svim poljima primjene.

Sva pitanja primjene umjetne inteligencije trebaju proći regulacije, dozvole i odobrenja agencije FDA Uprave za hranu i lijekove, (*engl. Food and Drug Administration*). Svi modeli zahtijevaju infrastrukturna rješenja koja omogućuju nesmetan pristup velikim količinama podataka. Ukoliko se riješe zagonetke u slikovnim podacima možemo biti sigurni da će alati umjetne inteligencije raditi za dobro pacijenta, te da će vrlo brzo napredovati (9). Zahvaljujući tome dijagnostika je postala bolja i brža, dostupne su pretrage i analize koje do sada nisu bile moguće, na raspolaganju su novi terapijski postupci, životni vijek je produljen i zdravstveno stanje poboljšano, a sve procedure ubrzane i vrijeme za dijagnostiku smanjeno.

4.10. PRIMJENA UI PREMA PODRUČIJMA

Umjetna inteligencija može pomoći u identifikaciji zadebljanja određenih mišićnih struktura, pratiti promjene u protoku krvi kroz srce i povezane krvne žile. Automatska kvantifikacija protoka plućnih arterija bi uvelike pomogla liječniku prilikom tumačenja i ručnog mjerenja, spriječila pogreške u otkrivanju i osigurala kvantitativne podatke koji se mogu koristiti u kasnijim studijama (20, 31). Algoritmi mogu automatski ispunjavati izvješća štedeći tako vrijeme kliničarima i identificirati mjerenja i vrijednosti koje se ne smatraju normalnim, tj. koje odstupaju od normalnog. Algoritmi su naučeni i za otkrivanje prijeloma i mišićno koštanih ozljeda, prepoznavanje dislokacija, ozljeda mekih tkiva omogućava i kirurzima da budu sigurniji glede izbora metode liječenja (31).

Pneumonija i pneumotoraks dva su stanja koja zahtijevaju brze reakcije, zbog poteškoća u prepoznavanju navedenih stanja bolesti algoritam umjetne inteligencije pridonosi razrješavanju dilema. Nekada ne prepoznavanje upale dovodi do postavljanja krive dijagnoze i uputa na daljnja nepotrebna snimanja koje bi upotrebom umjetne inteligencije smanjili. Umjetna inteligencija ima algoritme koje mogu radiolozima označiti i alarmirati visokorizične pacijente kao one s pneumotoraksom (31). Umjetna inteligencija je primjenu pronašla i u probiru raka. Medicinsko rendgensko snimanje koristi se za preventivne preglede raka dojke, pluća i debelog crijeva. Kod raka dojke nije uvijek lako utvrditi u tkivu s mikrokalcifikatima jesu li benigni ili maligni. Lažni pozitivni rezultati mogu dovesti do nepotrebnog invazivnog testiranja ili liječenja, dok bi pak propušteni maligni poremećaji mogli dovesti do zakašnjelih dijagnoza i loših ishoda. Umjetna inteligencija može pomoći u poboljšanju točnosti i koristiti kvantitativne značajke snimanja prema razini sumnje na karcinom. Slično pacijentima koji su podvrgnuti probiru za rak debelog crijeva mogu se naći polipi koji su često prethodnici raka (31). CT kolonografija je minimalno invazivni strukturni pregled debelog crijeva i rektuma za otkrivanje klinički značajnih polipa. Zbog manjka vremena analize čak i najiskusniji radiolozi mogu propustiti detekciju polipa, stoga umjetna inteligencija poboljšava njihov rad točnost i učinkovitost detekcije polipa i tako smanjuje lažno pozitivne rezultate ali i pravni rizik za radiologe. Iako je potrebno još mnogo baze podataka i mnoštvo studija gdje će se testirati i koristiti umjetna inteligencija i za druge slučajeve, medicinsko radiološka dijagnostika spreman je teren za njenu primjenu (31).

Ako UI postane norma u radiologiji, vrijeme snimanja i liste čekanja će se smanjiti, izvješća odnosno liječničke dijagnoze postat će točnije i samo će porasti potražnja za navedenim uslugama (32). U praćenju i detekciji najčešćeg oblika demencije Alzheimerova bolest je u studijama pokazala da je moguće predvidjeti faze bolesti pomoću magnetske rezonance. Osim ove neurološke bolesti vrlo uspješno u detekciji Shizofrenije, MR pruža dobru priliku za procjenu abnormalnosti mozga. Metode koje se temelje na strojnom učenju preferiraju se da bi se identificirali psihijatrijski poremećaji iz visokodimenzionalnih slikovnih podataka (33).

S masivnom količinom računalne snage, strojevi sada mogu prepoznavati objekte u realnom vremenu. Svjedoci smo eksplozije primjene umjetne inteligencije. Danas možemo govoriti o tome da umjetna inteligencija već mijenja svijet (3). Rast umjetne inteligencije koji sada vidimo povezan je sa rastom velikih baza podataka. Jednostavno eksplozivan rast podataka je osnova za stvaranje umjetne inteligencije (3, 16).

4.10.1 ROBOTIKA

Robotika je grana inženjerske znanosti koja se bavi projektiranjem, konstruiranjem, upravljanjem robotima (34). Najčešća upotreba robotike se nalazi u industriji međutim danas sve više u svim poljima poglavito medicini. Područja medicine sa primjenom robotike u nekom obliku jest u oftalmologiji, ginekologiji, kardiologiji, neurologiji i posebice kirurgiji. Kirurška robotika je najfascinantnije, najsloženije i najsofisticiranije interdisciplinarno područje medicinskog inženjerstva (34). Putem dubokog učenja koja projektira ulazne okvire na domeni CT renderiranja, omogućuje se dobivanje specifičnih podataka za pacijenta. Postoji i neuronavigacijska tehnika, koja koristi optički navigacijski sustav koji omogućava precizno praćenje trodimenzionalnog položaja i orijentacije kirurškog instrumenta, u odnosu na intrakranijalnu (lubanja) ili intraspinalnu (kralježnica) patološku promjenu, korištenjem računala koje se spaja sa snimkama CT-a ili MR-a (34). Neuronavigacija se koristi softverom za obradu slike i orijentacijskim točkama na glavi ili kralježnici koje se nakon toga uspoređuju sa prostornom projekcijom patološke promjene, s ciljem povezivanja koordinatnih sustava. Magnetska rezonancija (MR) je korisna za postupke vođene slikovnim prikazom jer osigurava slike veće rezolucije i bolji kontrast mekog tkiva od kompjutorske tomografije (CT), ultrazvuka i rendgenskih snimaka (35).

Dobivena je prosječna procjena dubine od 1,5 mm, koja je nadmašila konvencionalnu izravnu procjenu dubine od ulaznih okvira za 60%, a računalno vrijeme 30 ms (36). Računalno potpomognuta kirurgija poboljšava i vizualizaciju tj. navigaciju tijekom operacije uz digitalni sustav koji uključuje (34). Označava u realnom vremenu registraciju korelaciju i mapiranje područja operacije snimanjem na CT ili MR modalitetima.

Korištenjem slika dobivenih na medicinskim uređajima CT ili MR može se dobiti povećana preciznost za navigaciju i pozicioniranje kirurškog alata u ciljanu točku. Ovakav sustav daje rezultate u povećanoj preciznosti, velikoj kontroli kvalitete, stabilnosti, standardizaciji, planiranju operacije, uštedi vremena, povećava ljudsku spretnost. Povezivanje intraoperativnih tehnika snimanja, kao što je vođenje fluorescencije, s trodimenzionalnim uvidima dobivenim predoperativnim snimanjem ostaje izazov koji prema preliminarnim studijama pokazuje uspjeh (37).

4.10.1.1. ROBOTI I UMJETNA INTELIGENCIJA

Danas je prihvaćena teorija da je robot fizička inkarnacija računala (38). Budućnost tehnologije u medicini nije u krvi i crijevima, već u bitovima i bajtovima. Danas su u razvoju roboti treće generacije odnosno roboti opremljeni računalima i usavršenim programima koji su primjenom raznolikih senzora i umjetnom inteligencijom sposobni prepoznati okolinu, analizirati svoje učinke i učiti iz svojih pogrešaka (19, 38). Robot obavlja sve složenije poslove učenje, zaključivanje, analiziranje, prihvaćanje, donošenje odluka. Umjetna inteligencija podrazumijeva se one aktivnosti (algoritmi, programi) kojima se nastoji imitirati prirodnu inteligenciju čovjeka (19). Teško je predvidjeti do kojih neslućenih dostignuća može dovesti razvoj umjetne inteligencije. Jasno je međutim da pritom u prvi plan dolaze etički i moralni kodeksi koje valja poštivati. U medicini će se koristiti mikro roboti za potrebe kirurgije, ispitivanja krvnih žila i dijagnostike. Robotski sustavi nude kombinaciju spretnosti, izdržljivosti, preciznosti (39, 40).

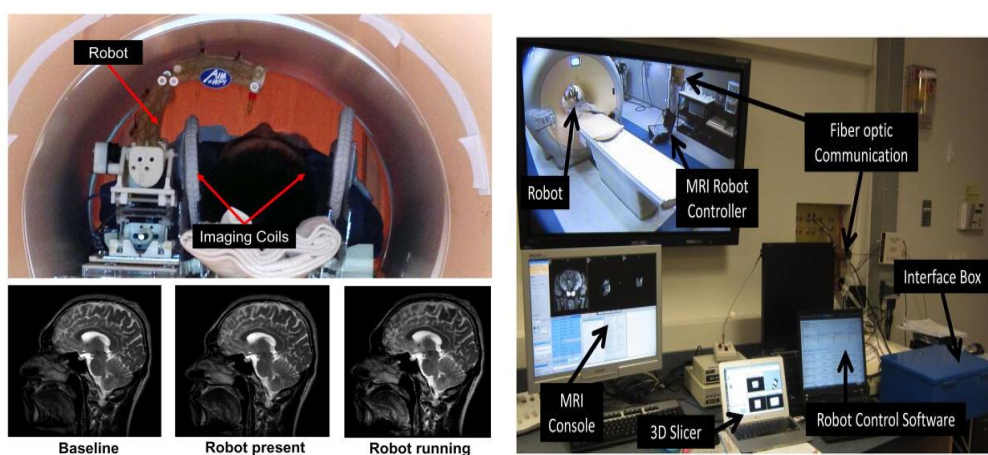
4.10.1.2. ROBOTIKA U HRVATSKOJ

Hrvatska ne zaostaje za svjetskim trendovima u medicini i elektronici. Dvije godine na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu razvijao se kirurški robot RONNA u suradnji s Klinikom za neurokirurgiju KB Dubrava. RONNA će asistirati pri neurokirurškim operacijama, što dokazuje kako i kod nas primjena tehnologije ulazi u operacijske sale i pomaže pri operacijama (21). Robot je danas u kirurgiji zamišljen kao asistent kirurgu u operaciji u smislu da proširi ili pojača neke ljudske sposobnosti (21).

Robotski sustav omogućuje obavljanje zadataka na vrlo maloj skali mikro kirurgije i omogućuje pristup lokaciji kroz ograničeni prostor kao minimalno invazivna kirurgije. Točnost se robota promatra kroz tri kategorije:

- Unutarnja točnost (prosječna pogreška određene komponente, mehanička popustljivost, trenje)
- Točnost obrade slike (šum, rezolucija slike, oblik materijala, numeričke greške)
- Točnost apliciranja u realnim uvjetima (uvjeti kirurške sale, promjenjiva okolina)

Razvoj RONNA robota trajao je šest godina do prve intervencije (biopsija) 10. 3. 2016. u KB Dubrava. Lokalizacijska jedinica sastoji se od markera koji se na pacijentovu glavu postave uz pomoć posebnog titanijskog vijka čime se dobije spoj s lubanjom. 3 markera vidljiva su na medicinskim uređajima CT ili MR (38). Nakon snimanja pacijenta dobiva se 3D model pacijenta i uz pomoć markera stvara se koordinatni sustav pacijenta. (Slike 14. i 15.) Na posebno razvijenom programu za kirurško planiranje točno se planiraju trajektorije za operaciju. Informacije programa za planiranje operacije šalju se zatim robotima, da bi sustav mogao identificirati poziciju, orijentaciju markera koji predočavaju koordinatni sustav pacijenta. Pomoću CT/MR slika povezuju se koordinate markera i ciljnih točaka (38).



Slike 14. i 15. Prikaz RONNA robotskog sustava.

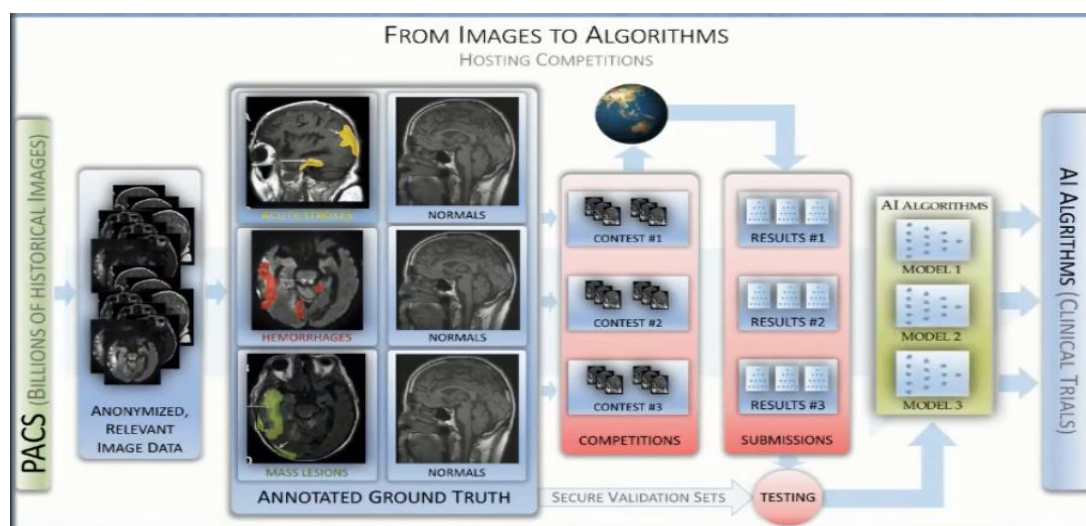
Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4428978/figure/F12/>

Za istovremeno stvaranje slike, sustav pokazuje manje od 15% omjer signala i šuma (SNR) manje od 0.20 % geometrijskih izobličenja (41). Postupak je vrlo zahtjevan i često ne rezultira optimalnim rezultatima. Može trajati 5 - 6 sati. Predoperativno se radi MR, CT i intraoperativno gdje je dostupna MR vođena intervencija. Postupak javlja pogreške i netočnosti zbog mogućeg moždanog pomaka koji se javlja u tijeku operacije. Površina mozga se deformira oko 20 mm nakon što se lubanja otvori (41). Sve navedene prepreke su područja koja će dodatnim istraživanjima i razvojem biti nadvladana.

4.11. RADIOLOGIJA

Radiologija je grana medicinske znanosti koja koristi tehnologiju snimanja rendgenskim zračenjem za dijagnosticiranje bolesti, osim dijagnostike izvode se intervencije pod rendgenskim vodstvom. Radiologija uvelike koristi napredak fizike, elektronike, inženjerstva, informacijskih tehnologija i računalnih znanosti (33). Radiolozi su već duže vrijeme upoznati sa računalnim sustavima detekcije i dijagnoze CAD, prvi puta uvedeni 60-ih godina u rendgenske snimke prsnog koša i mamografije. Međutim napredak u razvoju algoritma u kombinaciji sa lakoćom pristupa računalnim resursima omogućuje primjenu UI u radiološkom odlučivanju na višoj funkcionalnoj razini (2). Umjetna inteligencija pristupa problemima na sličan način onom ljudskom kako bi analizirao snimke pacijenata. Iako softver donosi odluku svi koraci, podaci, mape, izlazne i ulazne informacije dostupne su stručnjacima koji ih mogu potvrditi, povjeriti, donijeti konačnu odluku. Umjetna inteligencija stvorena je za pacijente kojima hitno treba liječnička pomoć i mišljenje, ako se rano uspostavi dijagnoza rano se kreće i s liječenjem što daje veću šansu za spašavanje ljudskih života. Umjetna inteligencija je ključ za ostvarivanje transformacije zdravstvene baze. Multidisciplinarni rad koji uključuje poučavanje, obuke, preglede te interpretaciju slika. Radiologija postoji već više od jednog stoljeća i za to vrijeme stalno se mijenjala i mijenja se. Otkriće rendgenskih zraka Wilhelma Conrada Roentgena 1895. bilo je začetak novog pogleda na čovjeka unutra medicinske znanosti (42).

Nakon toga uz razvoj računala strojeva i informacijskih tehnologija razvoj radiologije je omogućio da na različite načine i mogućnosti snimanja promatramo pacijenta kroz strukture i funkcije organizma. Trenutno se nalazimo u novoj eri radiologije, suvremene radiologije ere umjetne inteligencije (42). Radni tijek dijagnostičke radiologije može se pojednostavniti i postaviti u određene točke slijeda. Od primanja pacijenta i njegove medicinske dokumentacije, proučavanja i odlučivanja o potrebi dodatne dijagnostike i koje, te automatizaciji i standardizaciji snimanja (32). Uz primjenu algoritama umjetne inteligencije obradom slika, poboljšavanjem kvalitete slike, segmentiranjem anatomije i obavljanjem detekcije dijagnostičko rasuđivanje će uvelike biti olakšano, jer je to polje gdje će se radiologu ponuditi prošireno prezentiranje rezultata, gdje neće zamijeniti radiologa nego ga nadopuniti (Slika 16.). Rečenice poput nestanka radiologa te potpune zamjene radiologa sustavom umjetne inteligencije zvuče nevjerojatno jer bi morao biti razvijen do kraja sustav koji ima nadzor i kontrolu nad cijelim dijagnostičkim putem (32). UI aplikacije nude važan novi način za izdvajanje dosad nedostupnih informacija iz slika i novi su portal za doprinose slikovnom prikazu ere precizne medicine (21). Potrebno je vrijeme i iskustvo kako bi mogli primijeniti i razumjeti sve dobrobiti UI.



Slika 16. Od medicinskih slika preko algoritma do analize medicinske slike i izvješća.
Izvor: <https://medium.com/predict/opportunities-for-machine-learning-ai-in-radiology-66bc9b2f0b59>

Sve dok posjedujemo skup podataka točno označenih te sa mnoštvom kolega s kojima se može surađivati uvijek će se pojaviti zanimljiva rješenja. Strojno učenje pruža učinkovit način automatizacije analize medicinskih slika. Primjena strojnog učenja u radiologiji uključuje segmentaciju (mozga, kralježnice, pluća, jetra, bubrega) registraciju (različitih modaliteta i vremenskih serija) sustave za analizu funkcije, aktivnosti, detekciju, dijagnostiku (33).

4.11.1. INOVACIJA OXIPIT

Jedno od rješenja za pretraživanje prsnog koša odabrano kao najbolja inovacija tvrtke *SIIM Oxipit chestglass SIIM (Society for imaging informatics in medicine)* i jedan od projekata za inovacijske izazove u 2018 (43). Sposobnost metode dubokog učenja bazirano na pretrazi slika koje nisu označene, a dolaze direktno od rendgenskog uređaja i koristi bazu podataka bolnice kako bi povezo najsličnije radiološke slučajeve zajedno s njihovim rezultatima izvješća. Posebice pomaže kod detekcije radiograma s rijetkim ili teškim pronalascima značajki. Izuzetno koristan alat specijalizantima radiologije (43). Do sad su zdravstvene ustanove arhivirale milijune slika u bazama podataka koje su praktički neiskorištene. Danas sa izvrsnim alatima koji su na raspolaganju za opće pretraživanje informacija, radiologija je spremna za korak ka primjeni umjetne inteligencije. Osim pretraživanja radioloških slika nudi automatizirana rješenja temeljena na dubokom učenju. MR moždana segmentacija, otkrivanje područja ishemije i lezija, rendgene kralježnice - segmentacija kralježaka i lezije neke su od alata UI *OXIPIT-a* (43).

OXIPIT je računalni softver specijaliziran za medicinske slike. Tvrtka koja ga proizvodi nastoji u svakodnevnu kliničku praksu uvesti najnovija otkrića umjetne inteligencije. Danas su kliničarima dostupni skoro svi podaci o pacijentu, dohvaćajući elektronske kartone koju su ranije zabilježeni o pacijentu uključene su slike, izvješće o pregledima i procedurama, laboratorijske vrijednosti, patološka izvješća, prijemi pacijenta, otpuštanje, naplata i sve vezano uz tog pacijenta. Međutim nekad tolika količina podataka stvara šumu od koje se drvo ne vidi, stoga je potreban algoritam koji bi djelotvorno pronašao podatke koji su potrebni za rješavanje novog slučaja.

UI povećava sposobnost pronalaženja ključnih, relevantnih podataka koji su potrebni za skrb o pacijentu. Kad bi pacijent bio na CT-u prsnog koša, sustav UI analizirao bi sliku i odmah identificirao potencijalne nalaze uz to bi dao podatke povijesti pacijentove dokumentacije koja je vezana uz snimljeni dio tijela.

UI sustav automatski na pitanje „CT prsnog koša zbog bolova u prsima“ pronalazi:

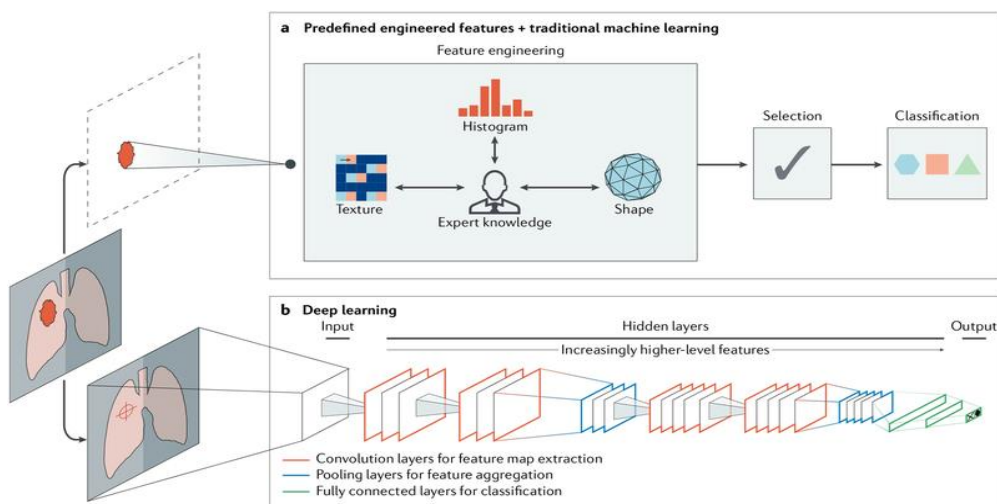
- Prethodne nalaze vezane za bolesti srca
- Farmaceutske informacije o lijekovima za kroničnu opstruktivnu bolest pluća, zatajenje srca, koronarnu bolest, antikoagulanse
- Prethodno snimanje bilo kojeg modaliteta
- Izvješća vezana na slike
- Laboratorijske nalaze
- Patološka izvješća

Povijest pacijenata od prethodnih izvješća mogu biti relevantni za potencijalne uzroke boli u prsima i uz UI bit će povezani s informacijama kao što su aneurizma aorte, visok krvni tlak, koronarna blokada, povijest pušenja, embolija pluća, rak, duboka venska tromboza (9). Ove bi informacije dok se prikupe oduzele dragocjeno vrijeme za neke bi liječnik propustio, a na ovaj način ih izravno dobije. Ako su dostupne prethodne studije dobivene kod istog pacijenta područja od interesa bit će identificirana pomoću softvera za čitanje. Ekstrahirana veličina, oblik, lokacija i sastavne značajke automatski će se učitati u bazu podataka i algoritamski uspoređivati s prethodnim snimkama kako bi se omogućila preciznija dijagnoza (44).

4.11.2. UI U MEDICINSKOM OSLIKAVANJU

Primarni pokretač pojave UI u medicinskom oslikavanju je želja za većom djelotvornosti i učinkovitosti u kliničkoj skrbi. Radiološko prikazivanje podataka i dalje raste nerazmjernom stopom u usporedbi s brojem raspoloživih obučanih čitatelja radiologa. Kako radiologija uključuje vizualnu percepciju, kao i donošenje odluka pod određenom nesigurnosti pogreške su neizbježne pogotovo u ograničenim radnim uvjetima.

Besprijekorno integriran sustav UI komponenta je unutar toka rada će povećati učinkovitost, smanjiti pogreške uz minimalnim ručni unos obučenog (16). Stoga su uloženi znatni naponi kako bi se olakšao tehnološki razvoj i napredak vezan uz UI. Gotovo svi zadaci vezani uz slike u bazi radiologije, ovise o kvantifikaciju i procjeni radioloških karakteristika slike. Ove karakteristike mogu biti važne za otkrivanje, karakterizaciju i praćenje bolesti (Slika17.).



Slika 17. Shematski prikazuje dvije metode umjetne inteligencije (UI) za zadatak klasifikacije, kao što je dijagnoza sumnjivih objekata kao benigni ili maligni.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6268174/>

Prva metoda se oslanja na projektiranje značajki izvađenih iz područja interesa na temelju stručnog znanja. Primjeri tih značajki uključuju karakterizaciju raka kao što su volumen tumora, oblik, građa, intenzitet i mjesto. Najjasnije značajke su odabrane i plasirane u klasifikatora za strojno učenje (16). Druga metoda koristi duboko učenje i ne zahtijeva regije primjera, lokalizacija je obično dovoljna. Ona se sastoji od nekoliko slojeva, gdje se izvlačenje značajki, odabir i konačne klasifikacije izvode istovremeno tijekom treninga (16). Kako se slojevi značajki nauče tako se povećava znanje u više razine, raniji slojevi mogu naučiti apstraktne oblike, kao što su linije i sjene, dok su dublji slojevi mogu naučiti cijeli organi ili predmete. Druga metoda, dubokog učenja, dobila je znatnu pozornost u posljednjih nekoliko godina. Istraživanja su također pokazala da tehnologije dubokog učenja su u rangu sa performansama radiologa jednaka je u detekciji i podjeli zadataka u UZV i MR-u.

Za klasifikaciju zadataka limfnih čvorova metastaza na PET-CT, duboko učenje imalo je veće osjetljivosti, ali niže specifičnosti nego radiolog. Ove metode su dobre osjetljivosti, a očekuje se i kompromis vezan za poboljšanje specifičnosti i očekuje se da će visokih performansi duboke metode učenja nadmašiti prag za kliničku korisnost u bliskoj budućnosti i stoga se mogu provoditi u kliničkoj praksi (16).

4.12. RAČUNALNO POTPOMOĞNUTO OTKRIVANJE (CAD)

Dugo predlagana i povremeno korištena metoda u kliničkoj praksi. Računalni algoritam je radiologu prepoznao i istaknuo važne objekte unutar slike. Međutim, ti algoritmi su često usmjereni specifičnim zadatkom govore općenito o bolesti i slikovnim modalitetima. U ispitivanju mamografija, neke studije su izvijestile da su radiolozi rijetko mijenjali svoje dijagnostičke odluke nakon rezultata iz unaprijed definiranih, značajka CAD sustava i da je njihova klinička integracija imala statističku značajnost na konačno odlučivanje radiologa. Duboko učenje za CAD u otkrivanju plućnih čvorova na CT-u i raka prostate na MR-u pokazuje dobre performanse, koje nadmašuju radiologa. U otkrivanju lezija mamografije, prvi rezultati pokazuju da korištenje konvolucijske neuronske mreže u CAD-u nadmašuje tradicionalne CAD sustave niske osjetljivosti i pokazuje slične performanse u usporedbi s ljudskim čitačima slika tj. radiolozima. CAD s neuronskim mrežama može točno predvidjeti status malignosti u plućima zbog sličnosti između benignih i malignih tvorbi u CT. Uz pomoć biomarkera se može koristiti za predviđanje maligniteta, uključujući procjenu rizika, diferencijalnu dijagnozu, prognozu i odgovor na liječenje. Na primjer, tradicionalni CAD sustavi se koriste kod ultrazvuka za dijagnosticiranje raka vrata maternice u limfnim čvorovima poboljšavaju performanse posebno neiskusnim radiolozima. Ostala područja primjene uključuju rak prostate u MR-u, gdje se maligna vjerojatnost prvo izračunava za cijelu prostatu, nakon čega automatizirano podjeljuje, za odabire detekcije. Za lezije dojke i čvorova na plućima, istraživanja pokazuju znatnu učinkovitost i dobit od dubokih poboljšanih CAD metoda.

Registracija slike, bavljenje višestrukim objektima i fiziološke promjene tijekom vremena sve više doprinose izazovnijim analizama slika. Sofisticiranije metode obavljaju klasifikaciju piksel po piksel, na temelju unaprijed definiranih značajki za identificiranje promijenjenih regija. Prva od zadaća koje treba poboljšati je rekonstrukcija. Pronađen je sve veći jaz između napretka u hardveru za prikupljanje slika i softvera za rekonstrukcije slike, koji je potencijalno moguće riješiti novim metodama dubokog učenja za suzbijanje artefakata i poboljšanje ukupne kvalitete. Na primjer, algoritmi za rekonstrukciju CT-a u posljednjih 25 godina nisu vidjeli nikakve promjene. Osim toga, mnogi filtrirani algoritmi za rekonstrukciju slike povratne računalne projekcije su skupi, što znači da je kompromis neizbježan (16).

Nove metode UI za ispravljanje artefakata kao i za rješavanje određenih specifičnih problema u slikovnim modalitetima koriste konvolucijske neuronske mreže (*engl. Convolutional Neural Networks - CNN*) za suzbijanje metalnih artefakata. Baze podataka ostaju središnja i ključna jedinica za učenje UI sustava. Zbog PACS-a je omogućeno diljem svijeta dostupnost velikog broja radioloških slika koje čine bazu znanja za UI sustav. Ključno je važno i imperativ je da slike očita obučeni čitatelj tj. radiolog kako bi se osigurao kredibilitet. Proces učenja je dugotrajan i gotovo je nemoguć bez čovjeka koji mora provjeriti točnost podataka.

Dodatne komplikacije nastaju sa rijetkim bolestima. Situacija se pogoršava kada je ograničen broj ljudi (čitatelja) koji su sposobni provjeriti ove rijetke bolesti. Nedostatak razumijevanja transparentnosti procesa dubokog učenja otežava predviđanje kvarova, izoliranje logike za određeni zaključak ili otklanjanje grešaka. Stoga su sustavi UI u radiologiji nazvani i "medicina crne kutije". Od ranih dana rendgenskog snimanja pa sve do najnovijih dostignuća u CT, MR i PET skeniranja, medicinske slike će i dalje biti stup dijagnostike i liječenja (2, 16).

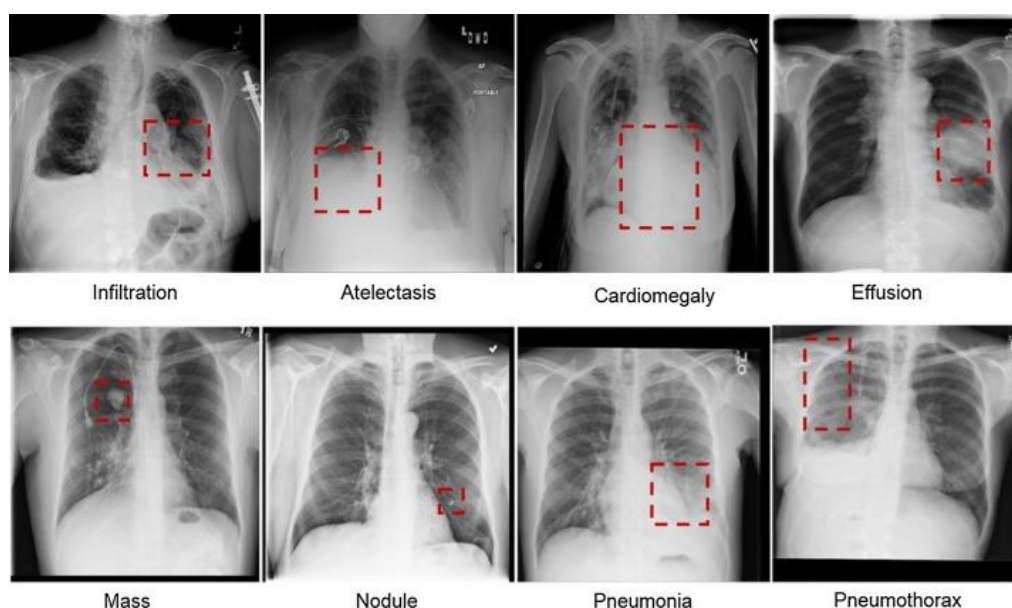
Uloga radiologa će se proširiti kako postaje povezan sa tehnologijom i ima pristup boljim alatima (16.) Bitna vrijednost algoritma je upravo u njihovoj brzini, koja je pak određena hardverom. Algoritmi UI omogućuju rješavanje kompleksnih zadataka velikom brzinom stoga su postali pokretačka snaga današnjeg svijeta, ostvareni u kodovima i telekomunikacijskim infrastrukturama (3, 16, 45).

CAD Računalno potpomognuta detekcija uglavnom je podijeljena u sljedeće korake: pred obrade slike, izdvajanje regija interesa ROI-a, značajki ROI-a i klasificiranje bolesti prema značajkama. Razvoj umjetne inteligencije u kombinaciji s akumulacijom velikih količina medicinskih slika tj. podataka otvara nove mogućnosti za izgradnju CAD sustava u medicinskim primjenama. Da bi analiza bila uspješnija sustav mora imati visoko rezolucijsku radnu stanicu za pregled, radnu stanicu za akviziciju (46,47).

Kao najčešći pregled u medicinskoj praksi, radiografija prsišta ima važnu kliničku vrijednost u dijagnostici bolesti prsišta. Tako je automatsko otkrivanje bolesti prsnog koša na temelju radiografije prsnog koša postala jedna od tema u medicinskih istraživanja. Na temelju kliničke primjene, studija provodi sveobuhvatno istraživanje o računalnim sustavima za detekciju (CAD), a posebno se fokusira na tehnologiju umjetne inteligencije koja se primjenjuje u radiografiji prsa. CAD sustav koristi se u otkrivanju specifičnih bolesti (plućnih čvorova, tuberkuloze i intersticijskih bolesti pluća) i višestrukih bolesti. Radiografija prsnog koša (rendgenska snimka prsnog koša) je ekonomična i jednostavna medicinska tehnika dijagnostike. Najčešće korištena dijagnostička metoda u dijagnostici bolesti organa smještenih u toraksu (45).

Čak i u nerazvijenim područjima moderni strojevi s digitalnom radiografijom vrlo su pristupačni. Stoga se radiografija prsišta široko koristi u otkrivanju i dijagnostici plućnih bolesti. Međutim, pravilno tumačenje informacija je uvijek veliki izazov za liječnika. Preklapanje strukture tkiva u rendgenskoj snimci prsnog koša uvelike povećava složenost tumačenja. Na primjer, detekcija je izazovna kada je kontrast između lezije i okolnog tkiva vrlo nizak ili kada se lezija preklapa s rebrima ili velikim plućnim krvnim žilama (45).

Čak i za iskusnog liječnika, ponekad nije lako razlikovati slične lezije ili pronaći vrlo nejasne nodule tj. čvorove, te različita stanja i druge bolesti pluća i prsnog koša (Slika 18.). Stoga će ispitivanje plućne bolesti u rendgenskoj snimci prsnog koša uzrokovati određeni stupanj propuštene detekcije. Široka primjena rendgenskih snimaka prsnog koša i složenost čitanja čine sustave detekcije pomoću računala uz UI algoritme „gorućom“, temom istraživanja jer sustav može pomoći liječnicima da otkriju sumnjive lezije koje se lako propuštaju, čime se poboljšava točnost njihovog otkrivanja (45).



Slika 18. Osam uobičajenih bolesti kao što su infiltrati, atelektaza, srčana hipertrofija, izljev, kvržice, čvorovi, upala pluća i pneumotoraks opaženi u rendgenskim snimkama prsa. Izvor:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30134902>

Na slici 18. prikazano je osam najčešćih vrsta oboljenja zabilježenih u rendgenskoj snimci prsa, a to su bolest infiltracije, atelektaze, srčane hipertrofije, izljeva, kvržica, kvržica, pneumonija i pneumotoraksa. Obuka, provjera valjanosti, testiranje i usporedba performansi CAD sustava zahtijevaju mnoge rendgenske snimke prsnog koša. Budući da izrada velikog skupa podataka o medicinskim slikama nije laka, većina istraživača se oslanja na javno dostupne skupove podataka (45).

Tehnike predobrade slika

Glavna svrha predobrade je poboljšati kvalitetu slika i učiniti ROI (područje od interesa) očitijim. Dakle, kvaliteta predprocesiranja ima veliki utjecaj na izvedbu naknadnih postupaka. Tipične tehnike predobrade uključuju poboljšanje slike, segmentaciju slike i suzbijanje kosti.

Poboljšanje slike

Kontrast, značajke ruba i šum na slikama imaju velik utjecaj na klasifikaciju i identifikaciju lezija. Da bi se dobilo više detalja u nejasnim i nisko kontrastnim područjima rendgenskih snimaka prsnog koša, rendgenske snimke prsnog koša treba pojačati kako bi se istaknuli strukturni podaci i potisnula buka. Poboljšanje slike uključuje pojačavanje kontrasta, suzbijanje buke, oštrenje rubova i filtriranje (45). Poboljšanje kontrasta je proces rastezanja raspona vrijednosti svjetline na slici, što poboljšava ukupni ili lokalni kontrast slike i čini sliku čistom. Izoštavanje slike kompenzira konturu slike, poboljšava rub slike i sive tonove, odnosno poboljšava podatke o detaljima slike. Potiskivanje buke uz očuvanje detalja slike što je više moguće. U procesu poboljšanja slike može se koristiti operacija filtriranja. Općenito, poboljšanje slike može pomoći postavljanju dijagnoze bez gubitka detalja na slici (45).

Segmentacija

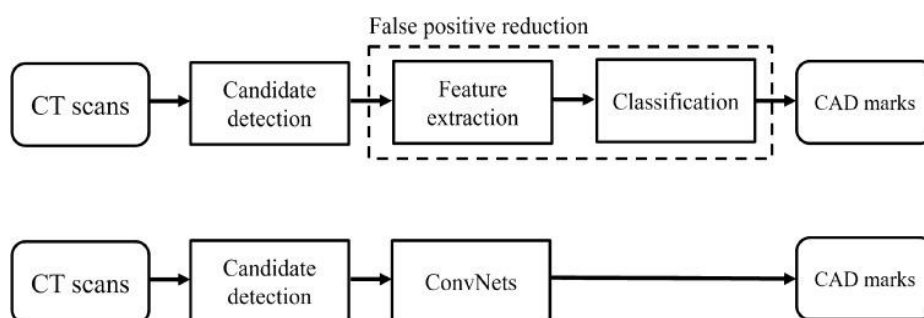
U rendgenskim snimkama prsnog koša obično je potrebno segmentirati anatomiju kako bi se dobila tražena regija od interesa tj. ROI. Zbog različite svrhe za otkrivanje plućnih čvorića, kardiomegalije i abnormalne asimetrije. Segmentacija pluća je najvažnija jer točno određuje ROI pluća, gdje se mogu pretraživati specifični radiološki znakovi, kao što su zamućenja, prozirnosti pluća, šupljine, konsolidacija i noduli. Metode su temeljene na strojnom učenju. Za rendgenske snimke prsnog koša, svaki piksel je dodijeljen odgovarajućoj anatomskoj strukturi, kao što su pluća, srce, medijastinum, dijafragma i tako dalje (45, 48, 49). Klasifikator može koristiti različite značajke, kao što je siva vrijednost piksela, informacije o prostornoj lokaciji i statističke informacije o građi.

Metoda klasificira svaki piksel u jednu od nekoliko anatomskih kategorija. Suzbijanje kosti je jedinstvena tehnika predobrade u radiografiji prsnog koša i važan je korak predobrade u segmentaciji pluća i ekstrakciji značajki. Rebra i ključna kost, skapula mogu blokirati abnormalnosti pluća, što komplicira fazu izdvajanja osobina. Stoga, postoji potreba za uklanjanjem skeletnih struktura, posebno rebara, skapule i struktura klavikule, kako bi se povećala vidljivost gustoće mekog tkiva. Supresija kosti može značajno povećati učinak na prepoznavanje lokalne pneumonije (50). Korisnost metode privremenog oduzimanja za skeniranje kostiju pokazala se u istraživanju promatrača u kojem su se vremena čitanja i dijagnostička točnost značajno poboljšala.

Suzuki i suradnici u istraživanju su razvili metodu za suzbijanje kontrasta između rebara i klavikula u rendgenskom snimku prsnog koša s multirezolucijskom neuronskom mrežom. Oduzimanje slike kosti od odgovarajućeg rendgenskog snimka prsnog koša proizvodi "sliku mekog tkiva", gdje su rebro i klavikula bitno potisnuti. Rezultati su pokazali da se 90% rebara može potpuno i djelomično maknuti, a 85% slučajeva povećava vidljivost nodula. Koristili su duboke konvolucijske neuronske mreže kao osnovnu jedinicu.

Izlaz računala koristi se kao "drugo mišljenje" u pomaganju radiološkim interpretacijama slike (49). Osim gore navedenih metoda obrade slike kako bi se smanjili artefakti pogrešne registracije na slikama vremenske oduzimanja, razvijena je nelinearna tehnika za usklađivanje prethodne slike s trenutnom slikom (49, 48). Bilo da koriste meku ili tvrdu kopiju prikaza medija, radiolog može i sa CAD rezultatima i dalje koristiti originalne snimke za konačnu dijagnozu (48). Strojno učenje postalo je dominantna tehnologija za rješavanje problema CAD-a, općenito ostvarujući bolje rezultate nego klasični pristupi, te kako se polje sada brzo mijenja u posljednjih nekoliko godina možemo svjedočiti kako se mogu postići još bolji rezultati uz primjenu metoda dubokog učenja (51).

Nedavni rezultati pokazuju da jedna duboka konvolucijska mreža CNN može prepoznati 1000 različitih objekata s točnošću usporedivom s ljudskom. To ukazuje da je moguće napraviti računalno potpomognute sustave detekcije koji mogu istodobno locirati mnoge različite vrste abnormalnosti u određenim skenovima (51,52). Konvolucijski potpomognuti CAD sustavi uz to što značajno ubrzaju i smanjuju postupak nastanka konačnog rezultata oni daju manje lažno pozitivnih rezultata (Slika 19.).



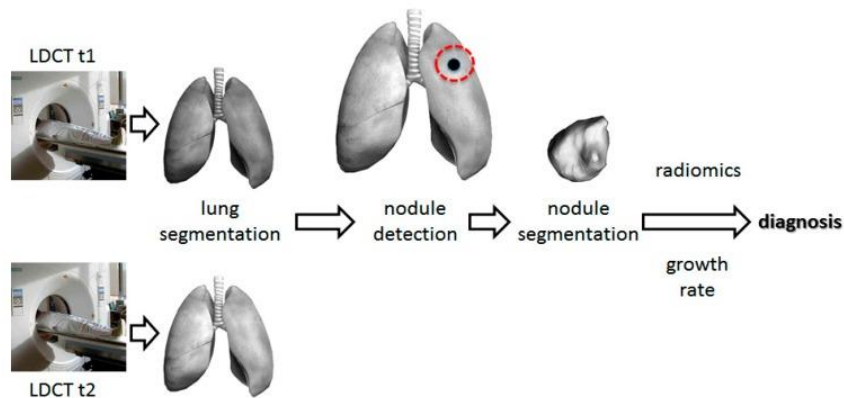
Slika 19. Postavljanje "tradicionalnog" CAD sustava za otkrivanje čvorova tzv. nodula na CT-u. Uključivanje CNN te skraćivanje postupka dobivanja CAD izlaza. Izvor:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28211015>

Probir za rak pluća pomoću CAD-a može se poboljšati na nekoliko načina:

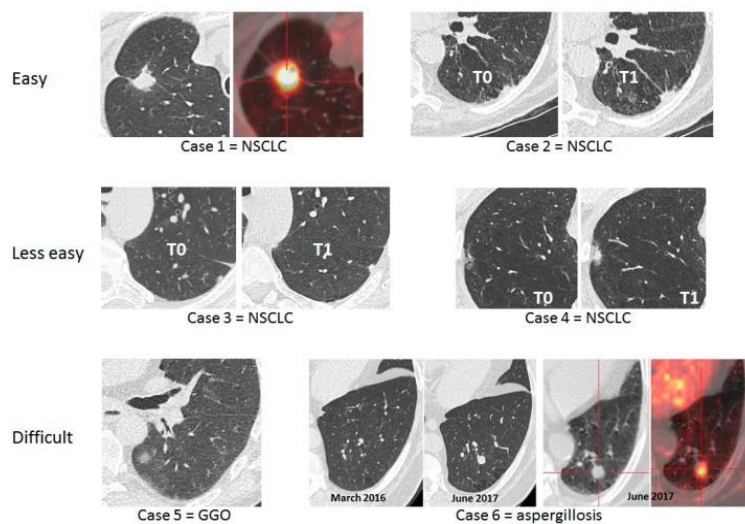
- poboljšati kriterije odabira (procjena faktora rizika)
- koristiti dijagnostiku pomoću računala (CAD+UI) kako bi se olakšalo tumačenje CT-a
- koristiti biomarkere za otkrivanje raka pluća ranog stadija

Korištenje računalno potpomognute dijagnostike tj. tumačenja kompjutorizirane tomografije s niskim dozama kako bi olakšali dijagnostiku screening raka pluća i smanjili stopu pogrešnih dijagnoza (Slika 20. i 21.). Jednostavan dizajn algoritma trebao bi se temeljiti na dva pitanja koja se odnose na ključnu otkrivenu leziju “Ima li ova osoba čvor?” Ako je odgovor “ne”, onda će on / ona biti zakazan je sljedeći krug ispitivanja. Ako je odgovor da, onda je drugo pitanje "Je li ovaj čvor karcinom?" Ovisno o njegovim značajkama, čvor će biti klasificiran kao maligni (M), benigni (B), ili neodređeni (I) (53).



Slika 20. Arhitektura računalno potpomognutih dijagnostičkih sustava za probir raka pluća. Probir i praćenje stanja.

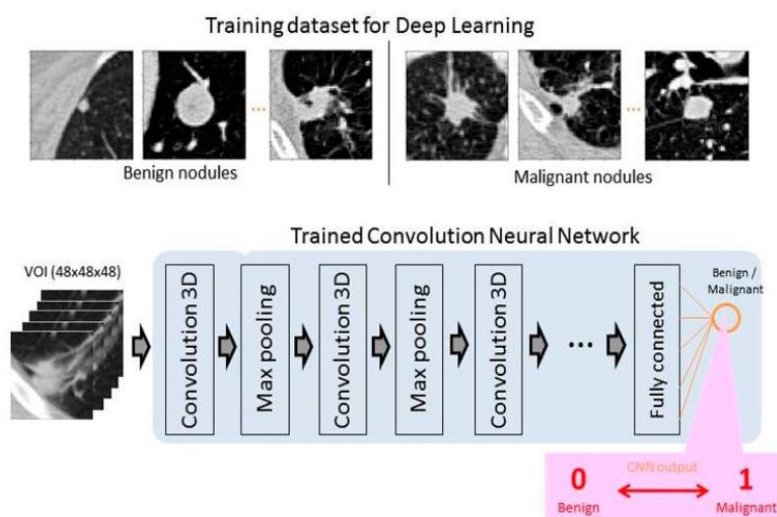
Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30759893>



Slika 21. Šest slučajeva screeninga raka pluća ilustriraju do koje mjere može biti teško interpretirati kompjutorsku tomografiju male doze.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30759893>

Baze podataka za vježbanje uključuju: CT prsišta s označenim nodulima, kao što je skup podataka, ukupno, 1186 nodula je označeno na 601 pacijentu. CT prsnog koša označenog "s rakom", ako je pridruženom pacijentu dijagnosticiran rak u roku od jedne godine od skeniranja i "bez raka". Jednom treniran, CNN izlaz osigurava vjerojatnost maligniteta između 0 i 1 (53) (Slika 22.).



Slika 22. Prikazuje trening podatka za duboko učenje. Baze podataka za vježbanje.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30759893>

Primarni cilj CAD-a je povećati stopu otkrivanja oboljelih regija, a smanjiti lažno negativne stope zbog pogreške ili zamora promatrača. Dok se CAD smatra dobro uspostavljenim područjem u medicinskom oslikavanju, metode dubokog učenja su poboljšale performanse u različitim kliničkim primjenama. Glavni problem metoda zasnovanih na umjetnoj inteligenciji jest poteškoća u integriranju kvalitativnog znanja i analize modela unutar interaktivnog odlučivanja u procesu konstruiranja (54). Postojeći CAD sustavi koji se danas koriste ograničenih su mogućnosti, te funkcioniraju samo kod precizno definiranih problema uske domene. Međutim, primjena metoda umjetne inteligencije u CAD sustavima može riješiti neke njegove nedostatke, prvenstveno obrade simboličkih i topoloških informacija, ukoliko se u obliku baze znanja pohrane skupovi pravila, postupaka i relacija (54).

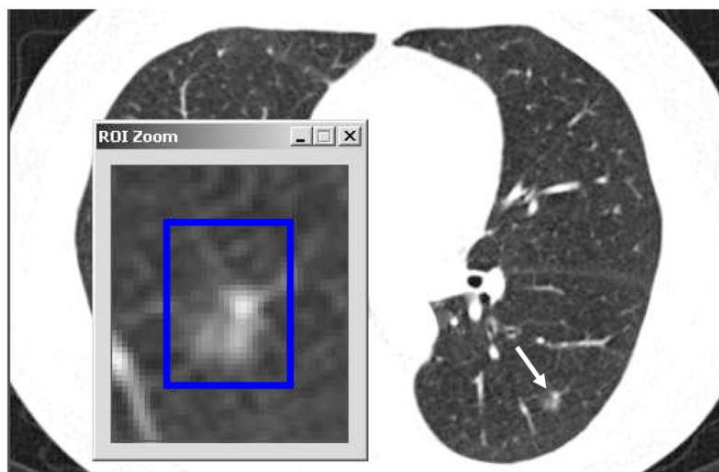
U rendgenskim snimkama prsišta postoje tri glavne vrste anomalija: abnormalnosti građe, koje karakteriziraju difuzne promjene u izgledu i strukturi područja, kao što su intersticijske lezije; fokalne abnormalnosti, koje se manifestiraju kao izolirane promjene u gustoći, kao što su plućni čvorovi i abnormalni oblik, u kojem procesi bolesti mijenjaju obrise normalne anatomije, kao što je u slučaju kardiomegalije. Ponekad se građa i oblik prsnog koša mijenja istovremeno s određenom bolešću, kao što je kod tuberkuloze, stoga je značajno otežana detekcija i prihvatljiva pomoć računala (50).

Detekcija plućnog čvora

Rak pluća je najčešći rak kod muškaraca, a treći je najčešći u žena. To je jedan od najagresivnijih vrsta raka kod ljudi, s ukupnim postotkom preživljavanja od 5 do 10 godina od 10-15%. Plućni čvorovi su rane manifestacije raka pluća; dakle, rano otkrivanje i dijagnoza plućnih čvorova je vrlo važna za ranu dijagnozu i liječenje raka pluća (55). Čvorovi se često pojavljuju na rendgenskim snimkama prsnog koša kao male kružne ili ovalne mase niskog kontrasta u regiji pluća. Karakterizira ih nekoliko obilježja, npr. velike promjene u veličini, velike promjene u gustoći, nesigurnost lokacije u području pluća, itd. U ispitivanju korišteno je 60 slučajeva rendgenskih snimaka prsnog koša koji su sadržavali plućne čvorove i 60 slučajeva ne-nodularnih rendgenskih snimki prsnog koša. 16 radiologa koji su sudjelovali u pokusu analizirali su radiograme prsnog koša bez računalne potpore i uz pomoć računalnih intervencija (55). Radiolozi su ocijenjeni u pogledu izvedbe razlikovanja nodula pluća pomoću krivulje karakteristika ROC. Rezultati su pokazali da CAD sustavi povećavaju točnost otkrivanja radiologa kod plućnih čvorova od 0,894 do 0,940 (55). Tradicionalni CAD sustavi kod plućnih čvorova uključuju predobradbu slike (poboljšanje i segmentaciju pluća), detekciju nodula i izdvajanje značajki radi smanjenja lažnih pozitivnih rezultata (56). Trenutačno se mnogi algoritmi usredotočuju na poboljšanje brzine otkrivanja nodula uz istovremeno smanjenje lažnih pozitivnih rezultata u rezultatima detekcije. Da bi se smanjili lažni pozitivni noduli, tradicionalni algoritam izdvaja značajke putem CNN (56).

Detekcija intersticijske bolesti pluća IBP

Kada je intersticija pluća oštećena, radiografija prsnog koša ukazuje na promjene u građi pluća kao što su linearne, retikularne, nodularne promjene. Slučajevi s različitim intersticijskim lezijama ponašaju se vrlo slično tkivu zdravom, čak i za profesionalce, teško je razlikovati normalno i ne-normalno tkivo na temelju građe. Stoga je otkrivanje intersticijske bolesti pluća u radiografiji prsnog koša jedan od najtežih zadataka za radiologe. CAD sustav laboratorija Kun Rossman u Chicagu podijelio je pluća u više područja od interesa i analizirao ROI pluća kako bi utvrdio postoje li abnormalnosti. Zatim su korišteni sustav dubokog učenja NN za klasificiranje sumnjivih područja koja će se otkriti (Slika 23.). Ovaj sustav može pomoći liječnicima da poboljšaju točnost otkrivanja intersticijskih lezija (56).



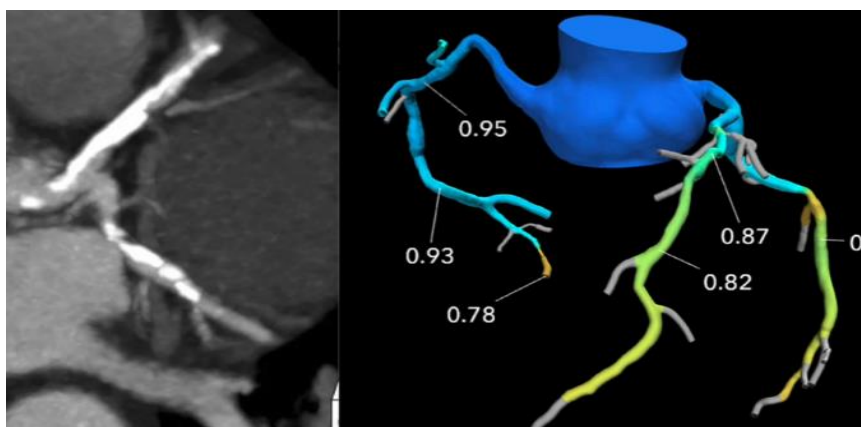
Slika 23. Prikaz tvorbe ROI 6 mm čvor, otkriven CAD sustavom. CAD poboljšava performanse torakalnih radiologa za otkrivanje plućnih čvorova ispod 5 mm na CT pregledima, koji se često zanemaruju samo vizualnim pregledom.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2810535/>

CAD poboljšava detekciju tvorbi radiolozima. Ukupno poboljšane performanse za 16.8%. Za detekciju tvorbe 3 mm za 18.9%. Detekcija tvorbe 4 mm za 13,1%. Za detekciju tvorbe 5 mm za 6,9% i za tvorbu od 6 mm za 7,7%. CAD poboljšava performanse torakalnih radiologa za otkrivanje plućnih čvorova ispod 5 mm na CT (56).

Ostale bolesti

U rendgenskim snimkama prsnog koša, uz plućne čvorove, tuberkulozu i IBP, postoje i druge bolesti koje se mogu otkriti, kao što su kardiomegalija, upala pluća, plućni edem i emfizem. Otkrivanje kardiomegalije obično zahtijeva analizu veličine srca i izračunavanje kardiorakalnog omjera, te veličine tumora (55). Korišten je stroj za podršku vektora (*engl. Support Vector Machine SVM*) za klasificiranje 250 kardiomegalnih slika i 250 normalnih slika, postižući točnost od 76,5%. Koristili su više CNN-ova za otkrivanje kardiomegalije. Mreža je precizno prilagođena na 560 uzoraka slika i ocjenjena, a dobivena je maksimalna točnost od 93%. Pneumonija i plućni edem mogu se klasificirati izdvajanjem značajki strukture (55). Možemo reći da smo tijekom posljednjih desetljeća svjedočili važnosti medicinskog snimanja njihovom razvoju i prihvaćanju implementacije najnovijih tehnoloških dostignuća. Kompjutorska tomografija (CT), magnetska rezonanca (MR), pozitronska emisijska tomografija (PET), mamografija, ultrazvuk, rendgen i tako dalje, za rano otkrivanje, za dijagnostiku i liječenje bolesti obogaćeni su metodama UI. Upravo, zbog velikih varijacija u patologiji i potencijalnom umoru ljudskih stručnjaka, istraživači i liječnici dobivaju značajnu koristi od računalno potpomognutih intervencija. UI na CT-u npr. nudi neinvazivnu alternativu za planiranje liječenja koronarne bolesti (Slika 24.).



Slika 24. CT opisuje neinvazivnu alternativu za složeno planiranje liječenja koronarne bolesti na temelju podataka iz ispitivanja.

Izvor: <https://www.dicardiology.com/content/ct-offers-non-invasive-alternative-coronary-disease-treatment-planning>

Nova studija objavljena u *European Heart Journal* pokazuje da kompjutorizirana tomografija (CT) može biti korisna u odlučivanju kardiološkog tima za složene koronarne bolesti. Rezultati također sugeriraju da najmodernija tehnologija snimanja može ponuditi neinvazivnu dijagnostičku alternativu konvencionalnoj koronarnoj angiografiji. Bolest koronarnih arterija i njezine komplikacije među glavnim su uzrocima smrti u cijelom svijetu. Prema terapijskim smjernicama često zahtijevaju operaciju koronarnog premoštenja ili perkutanu koronarnu intervenciju kao tretman. CAD sustav s UI značajno će pomoći u planiranju načina liječenja koronarne bolesti (57).

4.12.1. INTELIGENTNA RADNA STANICA

Koliko je značajno imati i brzu, pouzdanu kvalitetnu radnu stanicu za CAD govore sljedeći podaci. Slikovni podaci 2048 x 2048 prikazane veličine na monitoru 1.024 x 1,360 piksela. Vrijeme dohвата za jednu sliku u prsima bila je manja od 0,08 sekunde. Dizajn sustava radne stanice optimiziran je za brzo pretraživanje slika i prikaz (48). Za otkrivanje plućnih nodula radiolog ne može otkriti čvorove pluća do 30%. Uz pomoć CAD sustava na snimkama prsiju pozitivne detekcije su ostvarene u 70 % radiograma. Primjena CAD u angiografiji, gdje se automatizirano mjeri stenoze u krvnim žilama. Mjerenja stenoza, promjera krvnih žila. Za učinkovito praćenje vaskularnog stabla na slici. Podaci izvađeni iz angiografskih slika koristi se za određivanje brzine protoka krvi s analizom krivulje udaljenost i gustoće zavoja krvne žile (48). U zdravstvu, UI može pomoći radiolozima skeniranjem i utvrđivanjem nepravilnosti u radiološkim snimkama (58). Sustav za prikaz slike u radiologiji je od ključne važnosti. Radne stanice moraju biti računala sa monitorima visoke razlučivosti za što jasniju i detaljniju dijagnozu, prognozu i praćenje.

4.12.2. RADIOLOG ANALITIČAR

Sve je veći broj podataka koji se obrađuju i koji može utjecati na to kako radiolozi interpretiraju slike: od otkrivanja, opisa do zaključivanja. Kada se uzme previše vremena za analizu slike, vrijeme za ocjenjivanje kliničkog i laboratorijskog konteksta je poprilično stisnuto. Radiolog je sveden samo na analitičara slike. Klinička interpretacija nalaza prepuštena je drugim liječnicima, što prema literaturi može biti opasno, ne samo za radiologe, već i za pacijente.

Kliničari koji nisu radiolozi mogu u potpunosti razumjeti kliničku situaciju, ali nemaju radiološko znanje. Drugim riječima, ako radiolozi nemaju vremena za kliničku prosudbu, konačno značenje radioloških pregleda bit će prepušteno ne-stručnjacima u medicinskom snimanju (2). Stoga primjena UI u radiologiji nije prijetnja nego ogromna prilika za poboljšanje radiologije. Sustavi umjetne inteligencije uče od slučaja do slučaja. To je ključno jer sve abnormalnosti nisu reprezentativne za bolest i moraju se procesuirati. Međutim, za razliku od CAD sustava, kojima samo naglašavamo prisutnost ili odsutnost nekih značajki slike za koje se zna da su povezani s bolesnim stanjima, sustavi UI promatraju određene označene strukture i uče kako izvući značajke slike koje su vidljive ili nevidljive ljudskom oku (2). Ovaj pristup oponaša ljudsku analitičku spoznaju, omogućujući bolje performanse od onog dobivenog sa CAD programom. Profesionalnu ulogu i zadovoljstvo radiologa poboljšat će UI ako oni, kao i prije, prihvate ovu tehnologiju i obrazuju nove generacije kako bi je koristili i time uštedjeli vrijeme koje se troši na rutinske i monotone zadatke. To također može pomoći radiolozima da se osjećaju manje zabrinuti zbog velikog broja pregleda koje moraju napisati i radije biti usredotočeni na komunikaciju sa pacijentima i interakciju sa kolegama u multidisciplinarnim timovima. To je način na koji radiolozi mogu graditi svoju svijetlu budućnost (2). Primjeri obećavajućih rezultata su diferencijacija malignih od benignih čvorova na CT-u pluća, dijagnoza neuroloških i psihijatrijskih bolesti i identifikacija biomarkera u glioblastomu. Zanimljivo je da se pokazalo da UI kod MR predviđa preživljavanje u žena s rakom grlića maternice i kod pacijenata sa amiotrofičnom lateralnom sklerozom (2). Međutim, ne može se isključiti ni suprotna hipoteza ta da radiologija s povećanom umjetnom inteligencijom može zahtijevati više stručnjaka na tom području, uključujući radiologe. Općenito, povijest automatizacije pokazuje da se radna mjesta ne gube. Umjesto toga, uloge se preoblikuju; ljudi su premješteni na zadatke koji trebaju ljudski element. UI će omogućiti radiolozima da postanu sve više vidljivi pacijentima i igraju ključnu ulogu u integriranim kliničkim timovima (2). Na taj način, UI neće zamijeniti radiologe koji iskoriste potencijal UI, zamijenit će one koji odbijaju ovaj ključni izazov. Konačno, moramo zapamtiti da UI oponaša ljudsku inteligenciju. Potrebne su i mnoge označene studije, nalazi od iskusnih radiologa; te je skupove podataka teško pronaći i zahtijevaju mnogo vremena, što podrazumijeva i visoke troškove.

Radiolozi su izuzetno zaposleni, baš kao svi zdravstveni djelatnici ne mogu si priuštiti greške u radu, uvijek moraju biti oštri u svom prosuđivanju, zato će im alati umjetne inteligencije unaprijediti performanse na mnogo načina. Mnoga rješenja UI su usmjerena na pružanje dodatnih informacija. UI je čimbenik precizne medicine. Kvaliteta skrbi je iznimno važna, međutim ako dijagnoza nije postavljena na vrijeme, odlična kvaliteta nije od velike koristi. Stoga se kvaliteta uvijek mora kombinirati s učinkovitošću. Određivanje prioriteta slučajeva, različita mjerenja čime će automatiziranjem podataka bržati procese. (2,10)

4.12.3. RADIOLOŠKI TEHNOLOG

Sveučilišno obrazovani zdravstveni djelatnik koji radi s najmodernijom tehnologijom za dijagnostičko snimanje. Radiološka tehnologija zaposleniku nudi divno iskustvo gdje može pratiti kako se razvoj tehnologije upotrebljava na najbolji način, a to je za pomoć ljudima. Dijagnostika je važna, ali ključna točka u tom procesu je stvaranje kvalitetne radiološke slike, koja danas predstavlja više od slike, ona predstavlja niz podataka. Kritična točka je stvoriti kvalitetnu sliku, bez artefakata, odlične rezolucije, kontrasta, oštine. Naš doprinos i odgovornost za stvaranjem dijagnostičkog materijala je izrazito važan i primjenom metoda UI značajno potpomognut. U timu s liječnicima i po potrebi drugim kliničarima radiološki tehnolog sudjeluje u procesu praćenja, liječenja i dijagnosticiranja bolesti ili ozljede pacijenta. Imaju vrlo temeljito razumijevanje građe ljudskog tijela anatomije i fiziologije, kako ozljede i bolesti utječu na pacijente. Kao i svi djelatnici u radiološkom timu, moraju pratiti i znati osnovne pojmove primjene UI u radiografiji, zakone, etičke norme i zaštitu pacijentovih i osobnih podataka. Koje prednosti im donosi, kako UI sigurno koristiti. Ovo od radiološkog tehnologa zahtijeva stalno napredovanje, istraživanje, praćenje razvoja struke i davanje vlastitog doprinosa u razvoju i implementaciji surađujući s timom liječnika, medicinskih fizičara i drugih stručnjaka. Znanje i tehnologija postali su pokretači društva. Edukacija i podizanje razine znanja ključ je uspjeha. Time se postiže "razbijanje" barijera otpora pri primjeni novih procesa. Treba postati prepoznatljiv respektabilan pružatelj znanja, znanjem i radom stvoriti zadovoljstvo kod korisnika. Važno je poznavati prednosti i nedostatke novih primjene novih tehnologija (59).

4.13. UI NASUPROT 101 RADIOLOGA

U istraživanju provedenom od strane radiologa i medicinskih fizičara na Medicinskom centru Sveučilišta Radboud, korišten je sustav umjetne inteligencije kroz algoritam klasifikator značajki za analizu slika otkrivanja lezija mekog tkiva i kalcifikata uz generiranje sumnje na rak (21). Sustav umjetne inteligencije odgovarao je točnosti više od 28 000 pojedinačnih mamogramskih pregleda. Uz dodatak metode dubokog učenja konvolucijskih neuronskih mreža. Slike su dobivene od žena koje žive u sedam zemalja, korištena su četiri digitalna mamografska sustava različitih proizvođača. Svaki skup podataka uključivao je dijagnostičke slike, rezultate svakog radiologa i stvarnu dijagnozu pacijenta (21). Ukupno 28 296 pojedinačnih interpretacija, 2652 slučaja od kojih je 653 bilo zloćudnih nalaza. Čitatelji su bili 53 radiologa iz Sjedinjenih Država, 48 europskih radiologa koji su bili specijalisti za područje dojke. Učinak postavljanja dijagnoze između radiologa i UI sustava je uspoređena korištenjem nulte hipoteze na razini značajnosti 0.05.

Statistički rezultati su pokazali neznačajnost u odnosu UI na radiologe. UI sustav je imao učinak 0.840 s intervalom pouzdanosti 95% = 0.820 do 0.860 dok je za radiologe bio 0.814 s 95% intervalom pouzdanosti 0.788 do 0.841. Razlike intervala pouzdanosti su 0.003 do 0.055 ROC krivulje tj. krivulje odnosa specifičnosti i osjetljivosti klasifikatora. Površina ispod krivulje AUC je bila za UI sustav veća 61,4% od radiologa i veću osjetljivost od 55 radiologa (21). Evaluacija UI sustava je ostvarila detekciju karcinoma usporedno sa prosječnim radiologom specijalistom za dojke. Iako brojke pokazuju dobar utjecaj ovog sustava i dalje su potrebna ulaganja i praćenja. Međutim sveukupno su radiolozi imali na raspolaganju više informacija za procjenu kao što su prethodni mamogrami. Istraživači sugeriraju da postoji nekoliko načina na koji bi se način mogao koristiti sustav UI dizajniran za otkrivanje raka dojke. Jedna mogućnost je njezina upotreba kao neovisnog prvog ili drugog čitatelja u regijama s nedostatkom radiologa za tumačenje mamografija.

Ove strategije bi radiolozima mogle dati više vremena da se usredotoče na složenije slučajeve, poput čitanja tomosinteze. Istraživači su ushićeni jer ispred njih je mnogo podataka koje treba prikupiti napraviti usporedbe i razvrstati ih prema karakteristikama slučaja, koji je tip lezije, mjesto lezije i karakteristike tumora. Dodatne mogućnosti u vezi s aplikacijama za umjetnu inteligenciju mogu uključivati optimizaciju radnih lista za određivanje prioriteta slučajeva, pred-analizu slučajeva pri velikim količinama, izdvajanje informacija koje se ne mogu otkriti golim okom i poboljšanje ukupne kvalitete rekonstruiranih slika (60). Prema istraživačima, ne prestaju postojeći izazovi, koji se odnose na ljudska društvena ponašanja i unutarnje izazove u pogledu sposobnosti UI i strojnog učenja. Povijesno gledano, kada se jednom područje prepozna kao važno sposobni ljudi ga brzo nasele, pa isto vrijedi za primjenu UI. Svi slučajevi s tuberkulozom pluća mogu biti otkriveni na radiogramima prsišta sa 97% osjetljivošću i 100 % specifičnošću kad se koriste duboke neuronske mreže za analizu slike i kad je radiolog prisutan da ocjeni ukoliko postoje dvojbe oko nekih slučajeva, navode pilot studije (61).

4.14.UI U AUTOMATIZACIJI DIJAGNOSTIKE

Nekada je dijagnostika ovisila gotovo isključivo o iskustvu liječnika. Umrežavanjem, stečeno iskustvo postalo je opće, javno dostupno svima. U slučaju korištenja baza podataka, ukoliko se bolesnik pojavi s nekim do tada neobičnim simptomima, pretragom, analizom lakše će se odabrati optimalno liječenje ukoliko je bilo kad i bilo gdje zabilježen takav slučaj. Jedna od takvih baza je i Modernizing Medicine, koja bilježi 14 milijuna zapisa bolesnika iz 3700 raznih izvora i moguće se od bilo kuda povezati na nju i pretraživati je (29). Postoji online baza elektroničkih medicinskih kartona razvrstanih po specijalnosti s podrškom za sve tipove i načine pristupa i pretraživanja (29). Napredak i evolucija tehnologije su nezaustavljivi, možda u skoroj budućnosti u nekim područjima medicine više nećemo vidjeti razliku između fizičkog liječnika i digitalnog, s algoritmom umjetne inteligencije i iskustvom svih liječnika (29). Zahvaljujući DICOM standardu koji ispunjava ulogu povezivanja svih modaliteta u bolnici, obogaćuje se svakodnevno globalna baza podataka.

Moto radiologije je: Što više slika vidite, to više izvješća napravite, to bolje rezultate dobivate. Isti princip vrijedi za procese strojnog i dubokog učenja. Ljudski stručnjaci moraju označiti slike i definirati elemente na slikama koji su normalni i koji bi trebali biti označeni kao promijenjeni elementi. Kritičan je to korak zato što uključuje mogućnost ljudske pogreške, razine samouvjerenosti da definiraju što će algoritam tražiti. Ne postoje podaci u kojima će svojstveno govoriti da je neka struktura svakako kvržica i da je upravo tu ili da se kvržica ispostavila kao nekancerogena. Ukoliko se kreće u postupak „treniranja“ algoritma mora se proći kroz mnoštvo podataka, njihov integritet, primjedbe, setove za obuku, setove provjere valjanosti (9).

Tako liječnik u pregledu radiograma prisišta prilikom odlučivanja i klasificiranja kao normalnog nalaza u odnosu na ne normalan, može se naići na 500 različitih elemenata koji bi ukazali na nenormalan nalaz. Što znači da bi trebala postojati baza podataka slika bar stotine ili tisuće ako ne i milijun pregledanih i označenih radioloških slika (9). Zrelost razvoja infrastrukturne organizacije i informatičkih inovacija odredit će uspjeh, brzinu i ritam primjene umjetne inteligencije u zdravstvu. Brzina i učinkovitost su joj izrazite prednosti. Zdravstveni djelatnik trebao bi biti u mogućnosti pregledati sve dostupne mogućnosti liječenja i informacija o dijagnozi u realnom vremenu. Za uspjeh bilo kakve medicinske prakse ključan je i ljudski angažman. Umjetna inteligencija je osmišljena kako bi pomogla da ljudi rade pametnije i učinkovitije (62).

4.14.1. MOGUĆNOSTI, IZAZOVI, ZAMKE I MJERILA ZA USPJEH

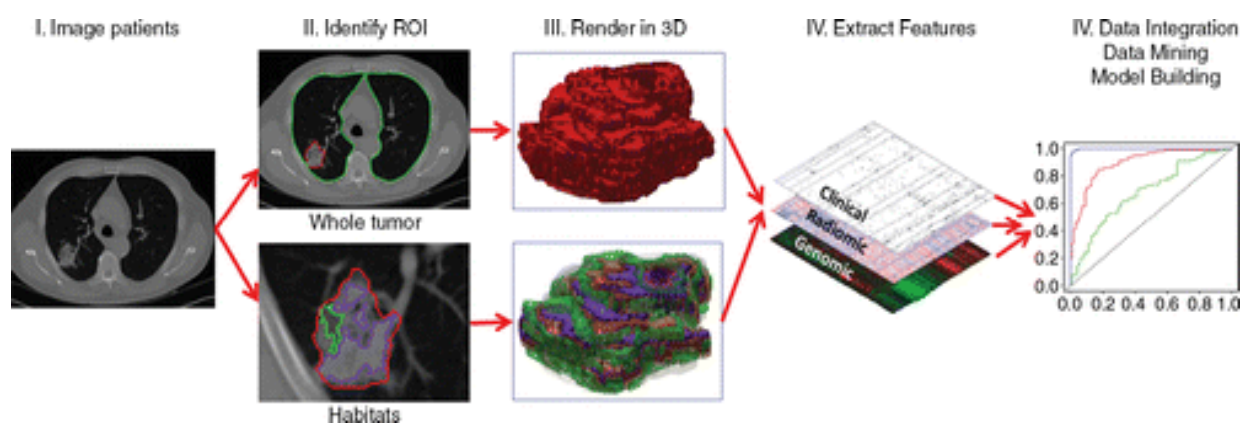
Umjetna inteligencija potencijalno povećava dijagnostičku i prognostičku vrijednost. Uspjeh će se mjeriti kroz vrijednosti: dijagnostička sigurnost očekuje se povećana, brzina, bolji rezultati za pacijenta te bolja kvaliteta rada radiologa (63). Većina radiologa želi zadržati fokus na pacijentu i poboljšanoj skrbi za njega stoga su spremni prihvatiti alate koji će pomoći koordinirati i integrirati podatke, identificirati, postaviti prioritete za hitna tumačenja, standardizirati izvještavanje i karakterizirati bolesti. U slučaju hitnog protokola za moždani udar, CT uređaj ima detektor za alarmiranje ako postoji krvarenje, u tom trenutku se može učiniti i angiografija te preći na hitne postupke liječenja u realnom vremenu što poboljšava tijek rada i učinkovitu zdravstvenu skrb za pacijente (31, 64).

Govoreći o granicama razvoj i primjene UI kao da ne postoje, ali još uvijek postoji dosta izazova koje treba prevladati prije nego se UI široko i potpuno usvoji. Potrebne su velike baze podataka sa slikama koje su točno označene. Najuspješniji modeli dubinskog učenja trenutno se obučavaju na 2 D slikama, CT i MR stvaraju 3 D slike, ono što bi bilo idealno je primijeniti uspješno metode dubokog učenja na sve vrste slika (10, 31, 64). Izazov je također i nestandardizirano prikupljanje slika sa različitih tipova uređaja, različitih postavki snimanja. Ono što su radiolozi izrazili kao izazov je rješavanje nezadovoljstva softvera kojem je potrebno mnogo vremena, previše koraka.

4.14.2. SLIKE SU VIŠE OD SLIKA, SLIKE SU PODACI

Radiološka slika ima sve veću važnost u cjelokupnom procesu skrbi o pacijentu. Dijagnostičke i terapijske indikacije za radiologijom se sve više šire. Brza ekspanzija posljedica je potrebe za bržim, točnijim i isplativijim manje invazivnim postupcima (33). Područje analize medicinskih slika raste eksponencijalno, s povećanjem broja alata za raspoznavanje uzoraka i povećanje veličine skupova podataka. Ovi pomaci olakšali su razvoj procesa za izdvajanje kvantitativnih obilježja, što rezultira pretvaranjem slika u podatke koje je moguće koristiti za podršku u odlučivanju ovaj proces se naziva *radiomics*. Sufiks „omics“ je pojam koji potječe iz biologije kako bi opisao detaljnu karakterizaciju bioloških molekula (44). *Radiomics* se definira kao pretvaranje slike u višedimenzionalne podatke i naknadno izlučivanje tih podataka za poboljšanu podršku odlučivanju. Ovo je u suprotnosti sa onim što tradicionalno slika predstavlja, a to je materijal namijenjen isključivo za vizualno analiziranje i interpretaciju. Podaci sa slika se kombiniraju s drugim podacima o pacijentima i poboljšavaju dijagnostičku, prognostičku točnost. Tehnološki napredak u radiološkoj opremi za snimanje također je potaknuo veće korištenje i veću dostupnost metodama snimanja. Dostignuća koja su postigla više razlučivosti i vizualizaciju manjih anatomskih struktura i abnormalnosti (33). Automatizirana i inteligentna analiza slika i razumijevanje istih postaju bitan dio u detekciji, registraciji promjena kod pacijenta (33). Segmentiranje abnormalnih i normalnih struktura sustavom dubokog učenja ipak je nekad komplicirano zbog problema kad medicinska slika sadrži normalne strukture koje su promijenjene, ne uvijek iste kod svih ljudi, post operacijske varijacije, problemi zbog artefakata i odnosa signala i šuma (33).

S nepovratnim povećanjem slikovnih podataka i mogućnošću identifikacije nalaza koje mogu ili ne mogu otkriti ljudskim okom, radiologija se kreće od subjektivne percepcijske vještine do objektivnije znanosti (2). Radiološki rad trenutno je može se reći ograničen subjektivnošću, tj. različitostima između pojedinih radiologa u načinu tumačenja i nepovoljnim učinkom umora na čovjekov rad. Pozornost koja se predaje na varijabilnost među čitateljima te rad na poboljšanju ponovljivosti i obnovljivosti medicinskog snimanja tijekom proteklih desetljeća dokazuje potrebu za dosljednim radiološkim rezultatima (2). *Radiomics* motiviran je konceptom da biomedicinske slike sadrže informacije koje odražavaju temeljnu patofiziologiju i da se ti odnosi mogu otkriti putem kvantitativnih analiza slike (44). Iako je *radiomics* prirodni nastavak računalno potpomognutog sustava dijagnostike i otkrivanja, znatno se i razlikuje od njih (65). *Radiomics* je eksplicitan proces dizajniran za izdvajanje velikog broja kvantitativnih značajki iz digitalnih slika, stavljanje tih podataka u zajedničke baze podataka, prikupljanje podataka za postavljanje hipoteza i ispitivanje istih. Razvijen je kao alat za podršku u odlučivanju, uključuje kombiniranje podataka sa drugim karakteristikama pacijenata, kako bi se povećala moć u odlučivanju. Namijenjena je izdvajanju maksimalnih informacija iz standardnih slika. Kvantitativna svojstva slike temeljena na intenzitetu, obliku, veličini ili volumenu te strukturi nude informacije o fenotipu i mikrookruženju tj. lokalizaciji, kliničkih izvješća laboratorijskih rezultata i drugih analiza (Slika 25.). Ove značajke zajedno s drugim informacijama mogu se povezati i koristiti za kliničku potporu u odlučivanju.



Slika 25. Dijagram toka koji prikazuje proces upotrebe *radiomics* u odlučivanju.

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2015151169>

Radiomics nudi gotovo neograničenu ponudu slikovnih biomarkera koji mogu pomoći u otkrivanju raka, dijagnozi, prognozi, predviđanju odgovora na liječenje i praćenju statusa bolesti (44,65). Rad sa pacijentima zahtjeva da se informacije iz različitih izvora kombiniraju u koherentan model kako bi se opisalo gdje je lezija, što je lezija. Proces započinje prikupljanjem visokokvalitetnih slika, može se identificirati sa slika područje od interesa koje sadrži cijeli tumor ili pod regije tumora. Prikazuju se u 3D slikama (44). Tumor može sadržavati stotine mjerljivih svojstava koja opisuju veličinu, oblik građu. Slike s različitim parametrima prikupljanja (kontrastom pojačane slike, difuzijske sekvence itd.) mogu se kombinirati kako bi se dobile regije sa specifičnom kombinacijom slikovnih podataka.

Svaka regija tumora ima specifičnu kombinaciju protoka krvi, gustoće stanica, nekrozu ili edem (44). *Radiomics* svojstva mogu ekstrahirati podatke iz svakog od ovih stanja kako bi se dobio cjelovit opis lezije raka. Može nam omogućiti da razlikujemo rak koji jako brzo napreduje (2). U mnogim situacijama nalazimo mnogo različitih dijelova podataka, a mi trebamo otkriti sličnosti i odnose među dijelovima ili pak želimo odrediti najvažnije dijelove (3). Podaci dobiveni iz *radiomics* istraživanja, kao što su intenzitet, oblik, tekstura, valna duljina, itd., mogu se izdvojiti iz medicinskih slika i ekstrahirati ili integrirati u strojno učenje, pružajući vrijedne informacije za predviđanje odgovora na liječenje, razlikovanje benignih i malignih tumora te procjenu genetike raka u mnogim vrstama (2). Naposljetku, UI aplikacije mogu povećati ponovljivost tehničkih protokola, poboljšati kvalitetu slike i smanjiti dozu zračenja, smanjiti vrijeme snimanja magnetskom rezonancijom, optimizirati korištenje osoblja čime se smanjuju ukupni troškovi. Te će aplikacije pojednostaviti i ubrzati rad radioloških tehnologa, što će također rezultirati prosječnom višom tehničkom kvalitetom pregleda. Ipak jedno od trenutnih ograničenja sustava UI je u niskoj sposobnosti prepoznavanja učinaka pozicioniranja, te artefakata. UI treba visoko kvalitetne studije, da bi njegova primjena donijela iznimne rezultate (2).

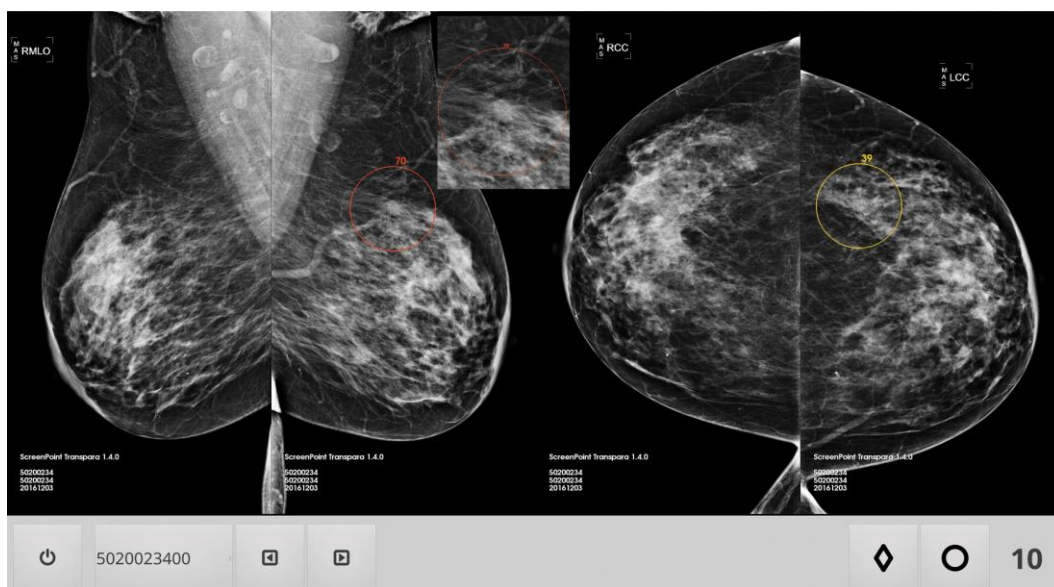
4.14.3. ZAŠTO JE RADIOMICS POTREBNA U PRECIZNOJ MEDICINI?

U preciznoj medicini treba identificirati podtipove genomske informacije dobivene iz dijela tumora dobivenog u biopsiji. FDA u SAD-u definira biomarker kao karakteristiku koja se mjeri, kao pokazatelj normalnih bioloških procesa, patogenih procesa ili odgovora na izloženost ili intervenciju, uključujući terapijske intervencije. Zasnovan na medicinskim slikama uz podatke o genetici mogla bi se stvoriti precizna medicina, jer medicinske slike, koje se dobivaju na neinvazivni, brzi i jeftini način, mogle bi dobiti cjelovite informacije o osobinama raka, kao što je intratumorska heterogenost. Potencijal je *radiomics* za izbjegavanje neugodnih komplikacija uzrokovanih biopsijom (44, 65). Neki pacijenti mogu odbiti biopsiju igle za uzorkovanje tkiva sumnjivog tumora pluća zbog zabrinutosti komplikacije pneumotoraksa. *Radiomics* je u stanju predvidjeti prognoze pacijenata na temelju opsežnih informacija o tumorima na neinvazivan, brz i jeftin način, stratificirajući pacijente u nekoliko podtipova koristeći biomarkere za snimanje. Brojni algoritmi strojnog učenja UI tehnologija primijenjeni su u *radiomics* za predviđanje ili procjenu onoga što će biti povezano sa strategijama liječenja, kao što su vrijeme preživljavanja, recidiv, nepovoljni događaji i podtipovi. Odlučivanje o biopsiji. Slike se već dugo koriste za vođenje biopsije. Kvantitativne analize različitih *radiomics* značajki također mogu precizno dati odgovor o mjestu biopsije, mogu koristiti za određivanje značajki onih mjesta unutra složenih tumora koji najvjerojatnije sadrže važne dijagnostičke prognostičke informacije uz smanjenje pojave post biopsijskih komplikacija i uz smanjenje same potrebe biopsije (10).

4.15. MAMOGRAFIJA

Umjetna inteligencija u medicini je prvi puta predstavljena u SAD-i kasnih 1990-tih za mamogramski probir. Konkretno duboko učenje spada u inovativne pristupe jer je moćan alat za analizu slikovnih podataka. Duboko učenje počiva na računalnim programima poznatim kao umjetne neuronske mreže koje su inspirirane neurobiološkom arhitekturom mozga.

Sustav umjetne inteligencije temeljen na neuronskim mrežama sve je češće korišten način za podršku u donošenju dijagnoze i lakšeg analiziranja mamografija (Slika 26.). U slikovnim zadacima prepoznavanja, stopa pogrešaka je samo nekoliko posto. Metode dubokog učenja pokazale su korist u predviđanju petogodišnjeg oboljenja od raka dojke za žene kod kojih je povećana mogućnost razvoja raka.



Slika 26. Mamografija 71-godišnje žene s invazivnim duktalnim karcinomom, (iscrtana je i razina sumnje određena računalnim sustavom). Korišten sustav umjetne inteligencije za podršku u donošenju dijagnoze.

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2018181371>

Siemens Healthineers razvio je alat temeljen na principima umjetne inteligencije 3D dijagnostički softver „syngo.via”, koji automatski detektira anatomske strukture, broji kralješke i rebra te druge alate za povećanje učinkovitosti i pouzdanosti radiološkog posla. Unaprijed je jasno da će provedba umjetne inteligencije zahtijevati interdisciplinarnu suradnju u kojoj će radiološki tim imati značajnu ulogu. Postat će veća automatizacija poslova, produktivnost, i neviđene metode obrade i analize slike koje nadmašuju ljudske spoznaje. Ovi nadolazeći događaji neće zamijeniti liječnike ni ljudski faktor, nego će pružiti visoko precizne alate za otkrivanje bolesti, posebice onih zloćudnih, smanjiti rizike na razumljiv način i optimizirati liječenje pacijenata i daljnje testove.

U kliničkim slučajevima, utvrđeno je da je učinkovitost neuronske mreže u spajanju ekstrahiranih svojstava lezija kako bi se razlikovale benigne i maligne lezije bila veća od prosječne uspješnosti radiologa (bez pomoći neuronske mreže). Autori zaključuju da takve mreže mogu predstavljati potencijalno korisno sredstvo u zadatku donošenja odluke o mamografiji razlikovanja benignih i malignih lezija (66).

Rak dojke je najčešći rak ženske populacije diljem svijeta. Unatoč golemom medicinskom napretku, rak dojke je i dalje ostao drugi vodeći uzrok smrti u svijetu; dakle, njegova rana dijagnoza ima značajan utjecaj na smanjenje smrtnosti. Međutim, često je teško dijagnosticirati abnormalnosti dojki (67). Različiti alati kao što su mamografija, ultrazvuk i termografija razvijeni su za otkrivanje raka dojke. Računalo pomaže radiolozima da učinkovitije prepoznaju abnormalnosti u grudima koristeći alate za obradu slike i umjetnu inteligenciju. Rezultati su pokazali da su strojevi s potpornim vektorom imali najveći postotak točnosti za različite vrste slika (ultrazvuk = 95,85%, mamografija = 93,069%, termografija = 100%) (67).

Računalna dijagnoza raka dojke uvelike je doprinijela razvoju medicine. Među čimbenicima koji utječu na dijagnozu utemeljenu na slici jesu prisutnost buke u slikama, sposobnost vizualnog opažanja radiologa, neodgovarajuća jasnoća, loš kontrast i manje iskusan radiolog. CAD UI metoda primijenjena je s realnim podacima imala je osjetljivost i točnost od 94% odnosno 92%. Štoviše, rezultat je pokazao da je površina ispod krivulje ROC predloženog algoritma bila 0,96, što ukazuje na izvrsne performanse sustava.

Osim toga, razvijeni su novi alati, uključujući alate za obradu slike kako bi se olakšala dijagnoza raka dojke. Liječnici mogu imati poteškoća u tumačenju slika zbog niske kvalitete i niske rezolucije slika snimljenih prvom generacijom medicinskih infracrvenih kamera za snimanje. Stjecanje slike je prvi korak. U ovom koraku podaci se prikupljaju u obliku digitalnih slika. Predobrada slike je sljedeći korak predprocesiranja ulaznih slika kako bi se poboljšala njihova kvaliteta uklanjanjem buke. Prethodna obrada, osim brisanja ili smanjivanja buke, poboljšava kvalitetu slike i povećava kontrast (67).

Kalibracija temperature tj. funkcija transformacije koristi se za pretvaranje vrijednosti nijansi sive skale u boje koje daje infracrvena kamera u linearno rastuću fizičku količinu, npr. temperaturu. Kako se izvor referentne temperature mijenja, snimaju se IR slike i bilježe rezultati (67).

Prednosti – Ograničenja :

- Metoda detekcije rubova
- Ima najnižu buku u usporedbi s drugom metodom
- Nema potrebe za prethodnim znanjem o slici
- Nije dobro za slike bez jasnih vrhova, rubova
- Metoda ovisna o regiji piksela u obližnjim područjima
- Treba puno vremena za treniranje podataka

4.15.1. RAZLIČITE TEHNIKE UI ZA OBRADU SLIKA

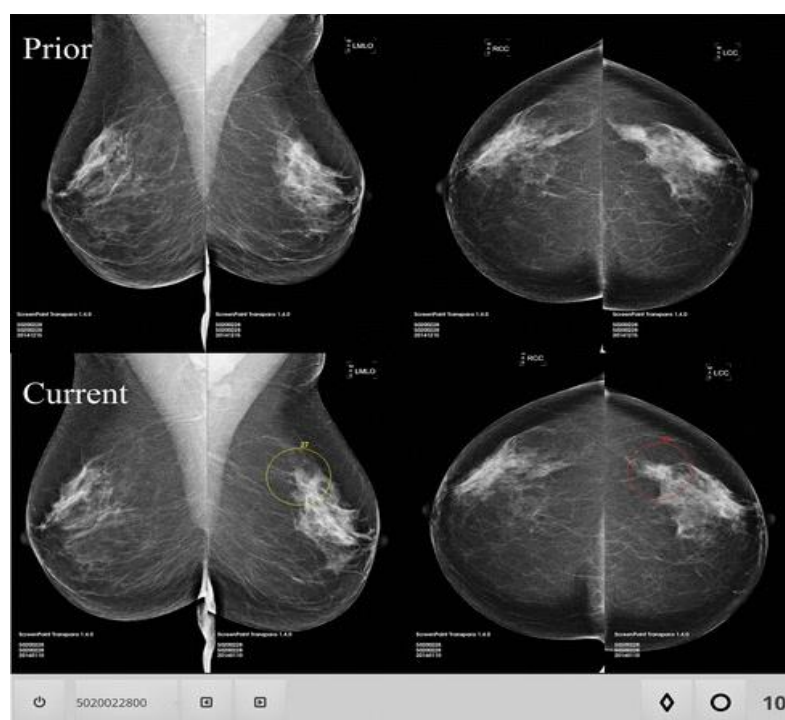
Jedna od najčešće korištenih tehnika za dijagnosticiranje raka dojke je stroj za podršku vektora (*engl. Support Vector Machine SVM*). Ova tehnika je briljantna među algoritmima učenja inspiriranim statističkom teorijom učenja i ugrađena je u skupinu strojnog učenja posljednjih desetljeća. Na taj se način smanjuje problem prelijevanja u podacima treninga i moguće je identificirati veliki skup podataka sa malim podskupovima trening podatka (67). Mreža dubokog učenja sadrži više slojeva obrade slike od klasičnih klasifikatora strojnog učenja koji se temelje na značajkama slike. Svaki sloj je tipična neuronska mreža, kao što je konvolucija neuronske mreže. Umjesto korištenja skupa ručno ili automatski odabranih značajki slike koje se izračunavaju iz slika, dubinska mreža za učenje koristi samu sliku kao jedan ulaz (67). Prednosti korištenja razvijenih sustava za dijagnosticiranje raka dojke uključuju: 1) pomoć radiolozima u procesu tumačenja screeninga kao drugi tumač nakon radiologa; 2) smanjenje broja lažno pozitivnih rezultata, što eliminira potrebu za nepotrebnom biopsijom i dovodi do uštede troškova 3) skraćivanje vremena pregleda pacijenta pregledavanjem i izvještavanjem o nalazima u nekoliko sekundi.

SVM ima neka ograničenja. Znanstvenici su naveli neka od ograničenja, uključujući sljedeće: 1) poteškoće u odabiru funkcije kernela tj. jezgre programa za problem; 2) niske performanse stroja u treningu i testiranju; 3) niža korelacija u fazi testiranja; 4) poteškoće u odabiru odgovarajućih parametara jezgre; 5) zahtijeva puno memorijskog prostora za pokretanje modela (67).

Meta-analizom su istraživači nastojali utvrditi dijagnostičku točnost različitih algoritama strojnog učenja za izračun rizika od raka dojke. Dobivene numeričke vrijednosti za osjetljivost i specifičnost dobivene su iz lažno negativnog (FN), lažno pozitivnog (FP), pravog negativnog (TN) i stvarnog pozitivnog (TP) nalaza. Pregledano je ukupno 1.879 članaka, od kojih je 11 odabrano za sustavni pregled i meta-analizu (68). Meta-analiza je potvrdila da SVM algoritam može izračunati rizik raka dojke s boljom točnošću od ostalih algoritama strojnog učenja. Točnost SVM-a za klasificiranje malignih bolesti iznosila je 85,6% (214 od 250); osjetljivost, 95,45% (105 od 110); specifičnost, 77,86% (109 od 140); pozitivna prediktivna vrijednost, 77,21% (105 od 136); i negativna prediktivna vrijednost, 95,61% (109 od 114). Najveća točnost klasifikacije (99,51%) dobivena je modelom SVM (68). Algoritmi pomoću računala (CAD) uspješno su otkrili mase i mikrokalcifikacije na probirnoj mamografiji. Svrha istraživanja bila je procijeniti osjetljivost dostupnih CAD sustava za otkrivanje arhitektonske distorzije, treće po učestalosti pojava raka dojke (69).

Dva komercijalno dostupna CAD sustava upotrijebljena su za procjenu mamografskih pregleda dobivenih u 43 bolesnika s 45 mamografski detektiranih područja arhitektonske distorzije. Za svaki CAD sustav odredila se osjetljivost za otkrivanje arhitektonske distorzije. Rezultati kirurške biopsije bili su dostupni za svaki slučaj arhitektonske distorzije. Arhitektonska distorzija smatrana je prisutnom od strane stručnjaka za dojke u 80 pogleda na 45 slučajeva. Jedan CAD sustav otkrio je distorziju u 22 od 45 slučajeva izobličenja (osjetljivost slučaja, 49%) i na 30 od 80 mamografija (osjetljivost slike, 38%); prikazao je 0,7 lažno pozitivnih ocjena po slici. (69) Drugi CAD sustav otkrio je distorziju u 15 od 45 slučajeva (osjetljivost slučaja, 33%) i 17 od 80 mamografija (osjetljivost slike, 21%); prikazao je 1,27 lažno pozitivnih ocjena po slici.

Potrebno je značajno poboljšanje osjetljivosti CAD sustava za otkrivanje ove vrste lezija (69). Za osjetljivost CAD sustava za otkrivanje malignih mikrokalcifikacija utvrđeno je da iznosi čak 99%, dok je osjetljivost sustava za otkrivanje malignih masa dojke 75-89%. Budući da arhitektonska izobličenja mogu oponašati normalan izgled preklapajućeg tkiva dojke, ovaj nalaz može biti suptilan i može se posebno teško otkriti. Arhitektonska distorzija je zabrinjavajući nalaz i zabilježeno je da predstavlja malignitet dojke u jednoj polovici do dvije trećine slučajeva u kojima je prisutan. Zbog svoje suptilnosti i potencijala za malignitet, arhitektonska distorzija čest je uzrok lažno negativnih nalaza na mamografijama (69). UI algoritmi postigli su osjetljivost od 76% i specifičnost od 89% u skupu podataka screeninga (Slika 27.). Unatoč razlikama u skupovima podataka, rezultati podržavaju opaženi trend da UI algoritmi postižu performanse slične onima radiologa za otkrivanje raka dojke u mamografiji (70).

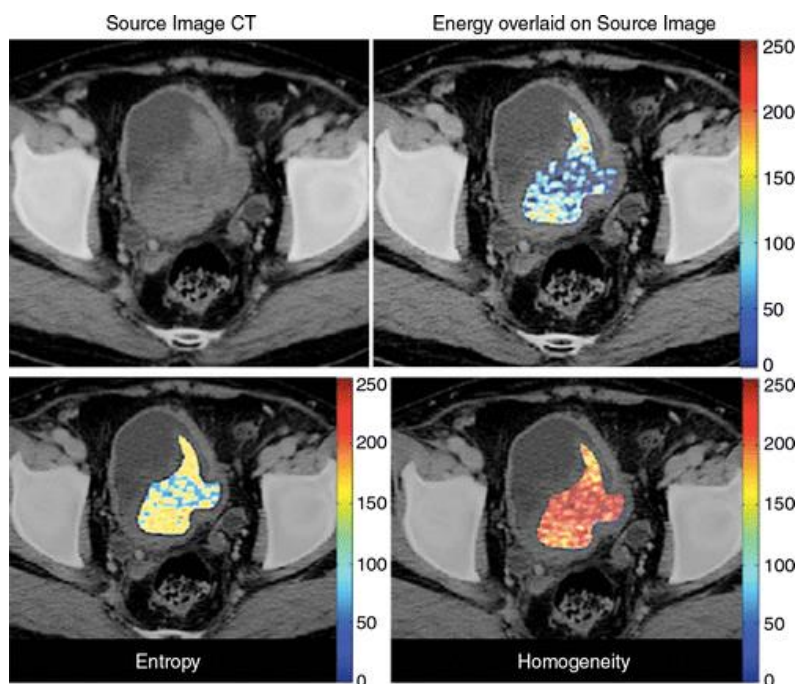


Slika 27. Mamogrami 62-godišnje žene bez raka koja je pogrešno pozvana na ponovno snimanje. Od strane jednog od 14 radiologa prilikom čitanja bez pomoći, ali pet od 14 radiologa kada su koristili sustav umjetne inteligencije (UI) za podršku.

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2018181371>

4.16. UTJECAJ PRIMJENE UI U ONKOLOGIJI

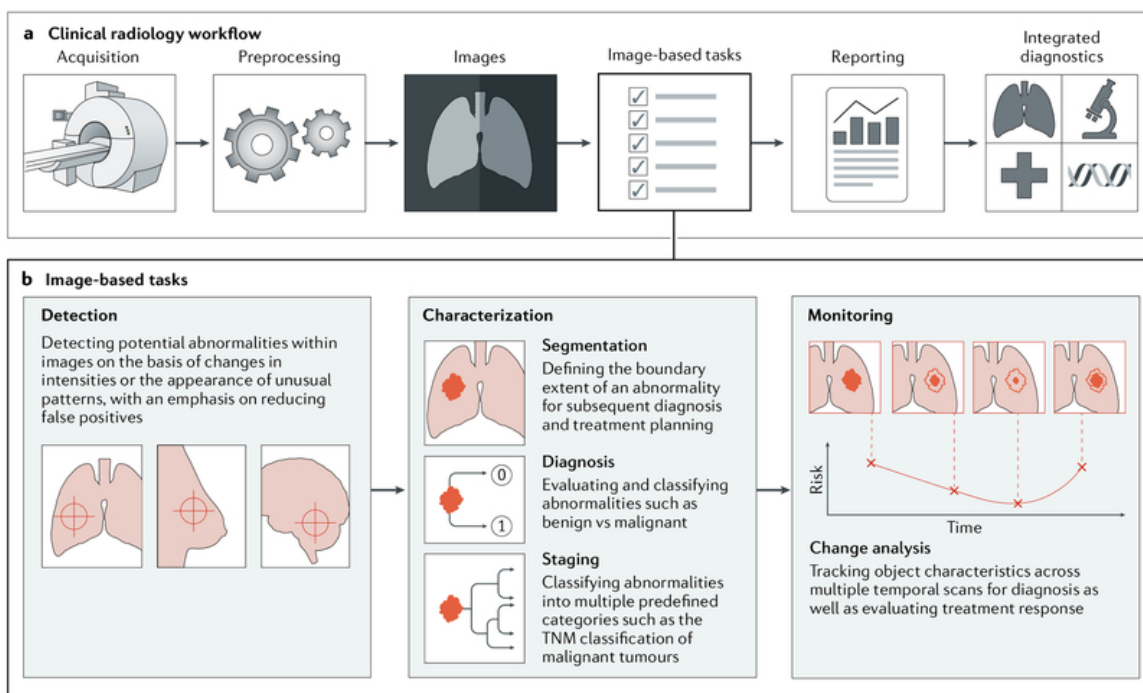
Umjetna inteligencija u otkrivanju abnormalnosti, karakterizacije i naknadnom praćenju promjena (Slika 28.). Zadaci koji zahtijevaju raznolik skup vještina: medicinska, u smislu dijagnoze bolesti i brige, kao i tehnički, za snimanje i obradu radiološke slike. UI tehnologija pozitivno će utjecati na klinički ishod identificiranjem fenotipske karakteristike u slikama tumora (16).



Slika 28. Aplikacija analize sastava na CT slikama raka mjehura. Na originalnoj kontrastom poboljšanoj slici gore lijevo lezija visoke atenuacije je jasno vidljiva i postoje dokazi o intratumorskoj heterogenosti. Međutim kad se uključe analize značajke energije gore desno, entropija dolje lijevo i homogenost dolje desno, može se s lakoćom očitati intratumorska heterogenost. Studije pokazuju kako se intratumorska heterogenost povezuje s lošijom prognozom.

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2015151169>

Tijek rada obuhvaća sljedeće korake: predobrada slika nakon stvaranja slika, kvantifikaciju značajki ili pomoću modificirane značajke s tradicionalnim strojnim učenjem ili dubokim učenjem, integracija podataka pacijenata iz više izvora podataka (Slika 29. a). UI će utjecati na kliničke poslove vezane uz stvaranje slike, uključujući i otkrivanje abnormalnosti; karakterizacija objekata u slikama pomoću podjele, dijagnostiku i postavljanje dijagnoze i praćenje objekata za dijagnozu i procjenu odgovora na liječenje (Slika 29. b)(16).



Slika 29. Ovaj shematski prikaz objašnjava razne zadatke unutar radiologije gdje će provedba umjetne inteligencije vjerojatno imati veliki utjecaj.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6268174/>

U otkrivanju dijagnoze, radiolozi se oslanjaju na perceptivne sposobnosti za identificiranje mogućih abnormalnosti, slijedeći kognitivne sposobnosti da se potvrde ili odbace rezultati. Oslanjajući se na obrazovanje, iskustvo i razumijevanje i znanje prikaza zdravog radiograma, radiolozi su osposobljeni za prepoznavanje abnormalnosti na temelju promjena intenziteta ili pojave neobičnih uzoraka na slikama (16). Za kliničkog radiologa dobiti od *radiomics* sustava su velike, jer ima potencijal pomoći u dijagnostici čestih ali i rijetkih tumora. Vizualizacija heterogenosti tumora može biti presudna u procjeni agresivnosti i prognoze tumora (44).

Istraživanja su već pokazala sposobnost *radiomics* analiza koje su pomogle razlikovati rak prostate od benignog tkiva i dodati informacije o agresivnosti raka. Većina tih bolesnika je podvrgnuta višestrukim CT, MR i PET snimanjima. CT, MR i PET omogućuju široke varijacije u protokolima za prikupljanje i rekonstrukciju slike, a standardizacija tih protokola u medicinskim centrima obično nedostaje. U studiji s 147 muškaraca s biopsijskim dokazom raka prostate, istraživači su pokazali da *radiomics* analiza ima potencijal omogućiti diferencijaciju kancerogenih od ne kancerogenih tvorbi (44, 71). U nekoliko sustava dijagnostičkog izvještavanja sad su već ugrađeni sustavi BI-RADS za dojke, te PI-RADS za prostatu i obradu podataka na plućima Lung-RADS.

Primjena u oslikavanju gornjeg i donjeg abdomena

Rastućim razvojem u medicinskom oslikavanju, posebice onom u kompjuteriziranoj tomografiji (CT) i magnetskoj rezonanci (MR) omogućuje se pronalazak više detalja (slučajnih nalaza) uključujući osjetljivost za lezije jetra koje se mogu identificirati. Umjetna inteligencija može pomoći u karakteriziranju tih lezija kao benignih ili malignih i postaje prioritet za praćenje procjene za pacijente s ovim lezijama. Kolonoskopija kod polipa kolona tj. tvorbi debelog crijeva koji nisu detektirani ili su pogrešno klasificirani predstavljaju potencijalni rizik kolorektalnog raka. Iako je većina polipa uglavnom benigna, oni mogu postati maligne tvorbe s vremenom. Stoga rana detekcija i trajno praćenje s UI alatima su ključno važni.

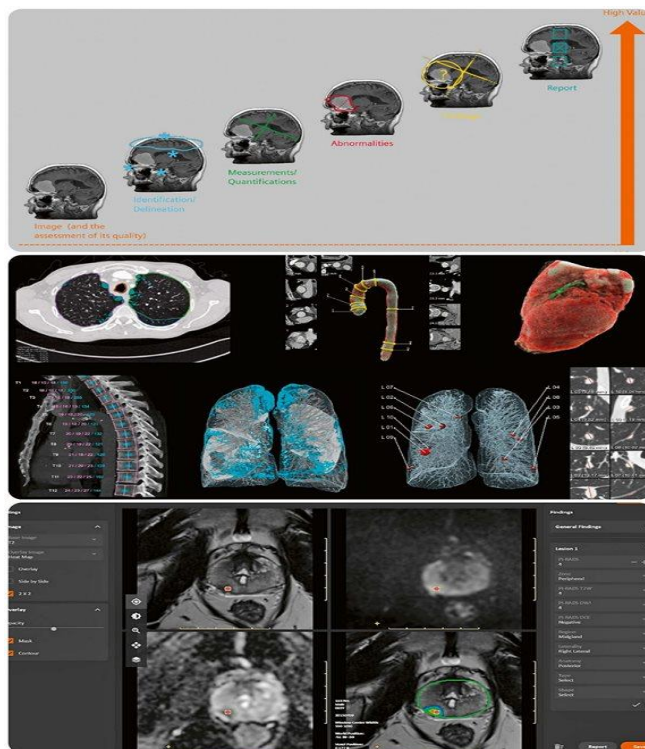
Oslikavanje mozga

Tumori mozga su opisani često kao abnormalni rast tkiva i mogu biti kao i svaka tvorba benigna, maligna ali i primarno žarište ili udaljena metastaza. Sustavi umjetne inteligencije se koriste za dijagnostička predviđanja. Radijacijska onkologija i planiranje terapije zračenja mogu biti uz UI automatizirani za segmentiranje tumora te ta optimizaciju doze zračenja koju prima pacijent. Prate se i procjene odgovora na liječenje tijekom vremena što je bitno za procjenu uspješnosti terapije zračenja i praćenja isporučene doze. UI je u mogućnosti obaviti ove procjene, čime se poboljšava točnost i brzina.

Kvantifikacija digitalnih slika biopsijskih materijala je ključna u postavljanju dijagnoze mnogih tipova tumora. Mogu biti korisni za predviđanje prognozu i terapijski odgovor u različitim uvjetima, čine vrijedne informacije personalizirane terapije. *Radiomics* istraživanja su pokazala nekoliko perspektivnih aplikacija za personaliziranu terapiju (2). Izazovi ostaju u točnom otkrivanju, karakterizaciji i praćenju raka poboljšanim tehnologijama. UI može automatizirati procese u početnoj interpretaciji slika i pomaknuti klinički tijek radiografske detekcije, upravljačke odluke o tome hoće li se intervenirati ili ne, te naknadno promatranje u još nejasno zamišljenoj paradigmi. Iako većina studija koje procjenjuju aplikacije UI u onkologiji do danas nisu bile valjano procijenjene za ponovljivost i generalizaciju, rezultati ukazuju na sve više usklađenih napora u poticanju UI tehnologije na kliničku uporabu (72). Paralelno s tim, sustavi zapisa i provjere koji se koriste u onkologiji zračenja precizno dokumentiraju planirane i izvedene tretmane. Algoritmi umjetne inteligencije i strojnog učenja mogu se koristiti za postupno analiziranje tih podataka kako bi se generirale hipoteze za bolje personaliziranije tretmana (73). Umjetna inteligencija postupno mijenja tradicionalni medicinski model, što je budući smjer i trend ljudskog medicinskog razvoja.

4.17. MAGNETNA REZONANCA

Magnetna rezonanca (MR) je dijagnostička metoda koja kombinira snažno magnetsko polje sa radiovalovima za izradu višedimenzionalnih slika tijela. MR pregled prikazuje detaljne slike organa, mišića, živaca, krvnih žila i ostalih struktura tijela (Slika 30.). Magnetna rezonanca kao modalitet u kojem je široko primijenjena umjetna inteligencija.



Slika 30. Alati UI u slikanju MR i CT. Široka primjena UI alata. Radiologija pred digitalnom revolucijom. Izvor:

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10157325291237760&set=gm.2438219829579481&type=3&theater>

Primjer primjene MR modaliteta i strojnog učenja i korištenje velikih podataka korišten je u području mjerenja lumbalnog neuralnog otvora u velikoj asimptomatskoj populaciji. Pomoću elektroničkog arhiva zdravstvenih zapisa i snimanja identificirane su studije lumbalnog MR na 645 muških (srednja dob, 50,07 godina) i 511 žena (srednja dob, 48,23 godine) bolesnika u dobi od 20 do 80 godina. Algoritmi strojnog učenja korišteni su za autonomno određivanje lumbalnog živčanog otvora i mjerenje područja.

Koristeći tehnike strojnog učenja i velikih podataka, utvrđena je linearna varijacija kodiranja lumbalnih neuralnih foraminalnih područja kod asimptomatskih pojedinaca. Ovaj model može se upotrijebiti za kvantitativne procjene neuronskih foraminalnih područja u bolesnika uspoređujući ih s dobnim, spolnim i visinski prilagođenim prosjekom stanovništva (74). Algoritmi umjetne inteligencije i strojnog učenja nalaze se i u automatiziranoj segmentaciji jetra iz CT i MR podataka (75). Izvedena konvolucijskom neuronskom mrežom, koja zahtijeva relativno malo skupova slikovnih podataka za generalizaciju na više načina i tehnika slikovnog prikaza. Dvodimenzionalna UI-mreža CNN bila je obučena za segmentaciju jetra u dvije faze korištenjem 330 abdominalnih MR i CT pregleda. Prvo, neuronska mreža je obučena s neobrađenim multi echom gradijentnim slikama od 300 MR pregleda kako bi se dobilo višestruke intenzitete signala. Koristeći strategiju učenja prijenosa, ova studija je pokazala izvedivost da CNN-ovi mogu imati široku primjenu za multimodalnu volumetriju jetra i karakterizaciju jetrenog tkiva (75).

Iako postoje i bit će snažni algoritmi u nekim prilično dobro standardiziranim kontekstima, za očekivati je da će ove aplikacije postati samo novi skup alata u rukama radiologa, pomažući, ali ne zamjenjujući ljudskog čitatelja. Zapravo, njihova upotreba i korisnost mogu postati tako sveprisutni u nekoliko godina da ih više nećemo nazivati "UI" i postojat će zasebna radiološka subspecijalnost o kvantifikaciji i obradi. Osim toga procijenjen je dijagnostički učinak dubokog učenja s konvolucijskim neuronskim mrežama (CNN) kako bi se razlikovao svaki reprezentativni poremećaj Parkinsonove bolesti pomoću MRI. Duboko učenje pomoću CNN-a omogućuje vrlo precizni opis parkinsonskih poremećaja pomoću MR-a (76). Duboka konvolucija neuronske mreže postiže diferencijalnu dijagnozu za pod dijelove analizirane Parkinsonove bolesti s točnošću za svaku od njih 96,8 %, 93,7 %, 95,2 % i 98,4% (76). Gadolinij je teški metal, kontrastno sredstvo koji se koristi kao kontrastni materijal koji poboljšava slike na MR. Studije su otkrile da tragovi metala ostaju u tijelima ljudi koji su bili podvrgnuti MR pregledu s određenim tipovima gadolinija. Kako bi se optimizirala sigurnost pacijenta, a istovremeno sačuvale važne informacije MR skeniranja istraživači koriste umjetnu inteligenciju kako bi smanjili dozu kontrastnog sredstva koje može ostaviti u tijelu nakon MR pregleda, prema studiji predstavljenoj na godišnjem sastanku Radiološkog društva Sjeverne Amerike (RSNA) to je prikazano mogućim (77).

4.18. ULTRAZVUK

Ultrazvučno snimanje jedan je od najčešćih modaliteta za otkrivanje bolesti u kliničkoj praksi. Postoje mnoge prednosti ultrazvučnog snimanja kao što su sigurnost, praktičnost i niska cijena. Međutim, čitanje ultrazvučne slike nije jednostavno (78). Kako bi se poduprla dijagnoza kliničara i smanjilo opterećenje liječnika, predlažu se potpomognuti ultrazvučni sustavi dijagnosticiranja (CAD). Posljednjih godina uspjeh dubokog učenja u klasifikaciji i segmentaciji slika doveo je do toga da sve više i više znanstvenika shvaća potencijal poboljšanja performansi dobivenih korištenjem dubokog učenja u ultrazvučnom CAD sustavu (78). Postoje dva važna aspekta CAD istraživanja koja su "*Detection*" i "*Diagnosis*", odnosno detekcija je definirana kao tehnologija za pronalaženje područja lezije slike. Cilj mu je smanjiti opterećenje medicinskih djelatnika za promatranje. Dijagnoza znači tehnologiju za prepoznavanje potencijalnih bolesti. Cilj mu je pružiti dodatnu potporu kliničarima. Ultrazvučni CAD sustav može se podijeliti u četiri faze: predobrada slike, segmentacija slike, izdvajanje značajki i klasifikacija lezija (Slika 31.).



Slika 31. Prikazuje opći dijagram toka ultrazvučnog CAD sustava.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5857346/>

Točnost metode klasifikatora ultrazvučnih slika dosegla je 96,59%. Stablo odlučivanja je učinkovit algoritam za klasifikaciju ultrazvučnih slika. Algoritam stabala odlučivanja koristi strategiju podijeli i osvoji kako bi podijelio prostor za pretraživanje problema na nekoliko podskupova (78). Struktura stabla odlučivanja je dijagram toka. Od vrha do dna, svaki čvor izračunava vrijednost značajke ulaznog uzorka kako bi odlučio koji će čvor prijeći na sljedeći. U čvorovima listova daje se konačni rezultat klasifikacije. Kada je veličina podataka mala i vrijednost značajke nije raznolika, konstrukcija stabla odlučivanja jednostavna je i brza. Međutim, ako je veličina podataka velika i vrijednost značajke različita, složenost algoritma stabla odlučivanja bit će ogromna (78).

Dijagnoza lezije dojke

Tumor dojke je jedan od najčešćih oblika raka za žene. Tisuće žena pate od tumora dojke u cijelom svijetu. Rano otkrivanje može značajno smanjiti stopu smrtnosti od raka dojke. Ultrazvuk je siguran i prikladan sustav za otkrivanje ranih lezija dojke, analizirane su 4254 benignih uzoraka i 3154 malignih uzoraka za obuku duboke neuronske mreže. Većina ih je koristila druge metode dubokog učenja kako bi klasificirala leziju dojke. Značajke dubokog učenja dosegle su točnost od 93,4% (78).

Dijagnoza lezije jetra

Učestalost i smrtnost bolesti jetra raste svake godine. Ultrazvuk je jedna od najčešćih tehnika za otkrivanje bolesti jetra. Mnogi istraživači pokušali su primijeniti duboku tehnologiju učenja kako bi poduprli liječničku dijagnozu ultrazvukom jetra. Točnost njihove metode doseгла je 93,90%. CNN se koristi kao alat za generiranje značajki iz ultrazvučnih slika. Liu i suradnici usvojili su SVM kao klasifikator za razlikovanje normalne jetra i oboljele jetra, a točnost predložene metode doseгла je 96,8% (78).

Fetalna ultrazvučna standardna detekcija

Ultrazvučno snimanje jedna je od najčešćih tehnologija u prenatalnom pregledu radi ekonomičnosti i sigurnosti. Kliničar može procijeniti naknadne biometrijske podatke fetusa iz standardne ravnine ultrazvuka fetusa. Mnogi znanstvenici su pokušali iskoristiti tehnologiju strojnog učenja kako bi automatski otkrili standardnu ravninu fetalnog ultrazvuka. Uz popularnost dubokog učenja, istraživači su počeli koristiti duboko učenje kako bi razlikovali fetalne ravnine kroz aksijalne, sagitalne i koronarne presjeke fetalnog mozga kod anomalija središnjeg živčanog sustava. Njihova je metoda dostigla točnost od 93,03%, što je znatno više od točnosti tradicionalne metode (78). Međutim, potrošnja vremena za trening koji često traje više od 80 sati za metodu je vrlo skupa. Fetalna neurosonografska dijagnostika ravnina može pomoći kliničaru da procijeni rast glave fetusa i otkrije ozbiljne anomalije središnjeg živčanog sustava.

Klasifikacija slike karotidnog ultrazvuka

Smrtnost uzrokovana kardiovaskularnim bolestima raste svake godine. Aterosklerotski plak je glavni uzrok kardiovaskularnih bolesti. U ranom otkrivanju ateroskleroze, debljina intime-medija karotidne arterije je važan pokazatelj. Liječnik je obično koristio ultrazvučnu sliku za mjerenje. Kako bi podržao dijagnozu liječnika, istraživači su pokušali iskoristiti duboko učenje kako bi automatski dobili debljinu arterije. Pogreška metode mnogo je manja od tradicionalnih metoda. Najveća razlika između ultrazvučnog CAD sustava dubokog učenja i tradicionalnog ultrazvučnog CAD sustava je pristup izvlačenja značajki. U tradicionalnom ultrazvučnom CAD sustavu, značajku je dizajnirao čovjek. No, u duboko učenje ultrazvučni CAD sustav, značajka je izvođena dubokim učenjem mreže, automatski. Prikupljanje podataka o ultrazvuku je također problem. Duboke metode učenja zahtijevaju mnogo uzoraka za obuku mreže. Međutim, veličina skupa podataka koji se koristi u većini gore spomenutih studija i dalje je mala (78).

U procjeni učinkovitosti generičkog softvera dubokog učenja u klasifikaciji raka dojke na temelju ultrazvučnih slika otkriveno je da je točnost za dijagnosticiranje raka dojke usporediva s onom radiologa, a može bolje i brže učiti od ljudskog čitatelja bez prethodnog iskustva. Rezultati su pokazali da je duboko učenje postiglo bolju klasifikacijsku učinkovitost s točnošću od 93,4%, osjetljivost od 88,6%, specifičnost od 97,1%. Stoga, predložena metoda može raditi u tandemu s ljudskim radiolozima kako bi se poboljšala učinkovitost (79).

4.19. ODGOVORNOST I SIGURNOST

Sustavi koji automatiziraju mnoge zadatke vrlo su uspješni na mnogim poljima. Tamo gdje je automatizacija evoluirala tijekom proteklih nekoliko desetljeća, ljudima je dan veći prostor usmjeren na pitanja vezana uz sigurnost, prikupljanje veće količine podataka. Medicinu možemo usporediti s zrakoplovstvom, oboje prvenstveno usmjereni na očuvanje sigurnosti ljudi. Tradicionalno se oslanjaju i na ljudsku stručnost i visoku razinu osposobljenosti za nadgledanje ključnih procesa.

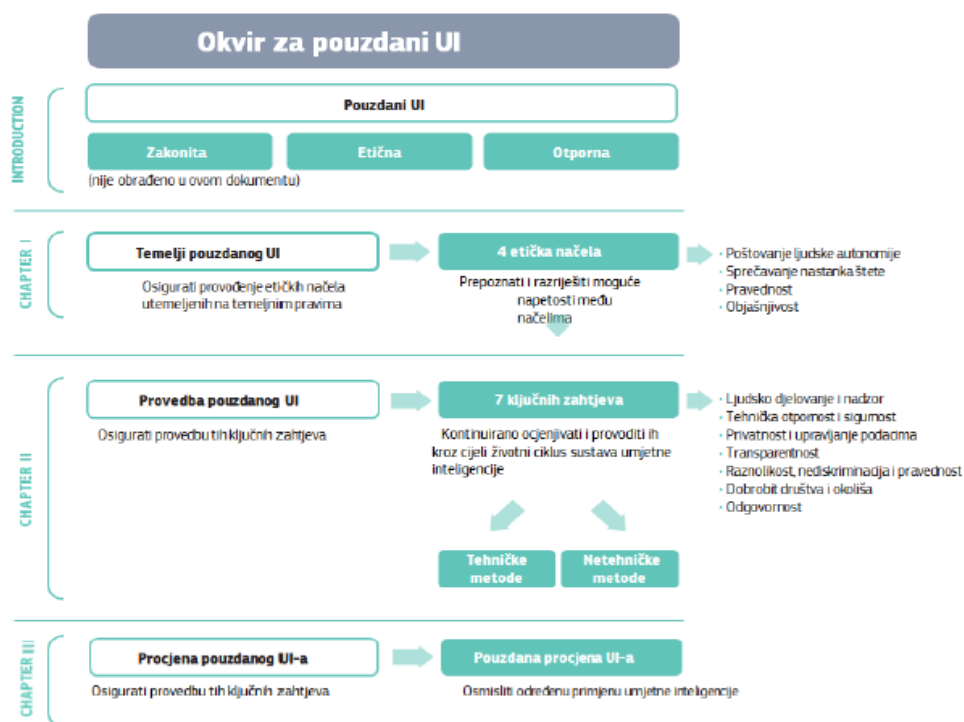
Uvidjeli su i prednosti koje će donijeti umjetna inteligencija i od nje imaju mnogo koristi u vidu kognitivnog rasterećenja i svakodnevnih zadaća (32). U medicini je trenutno lakše jednostavno ograničiti sustav UI na pružanje „ potpore odlučivanju“ i prepustiti konačno odlučivanje kvalificiranom radiologu. Ni jedan od sustava nije donositelj odluka jer su sve donesene odluke značajne i kritične za život, stoga je vrlo vjerojatno da će odgovornost uvijek biti na čovjeku. Možemo se zapitati: što bi stvaranje generalne umjetne inteligencije značilo za našu civilizaciju, društveni poredak i evoluciju ljudske vrste ili na cjelokupan život na Zemlji koji poznajemo? Također, što bi mogla donijeti integracija ljudi i strojeva u budućnosti (3). Nekoliko bitnih čimbenika pouzdane umjetne inteligencije jesu da pouzdana umjetna inteligencija mora biti u skladu sa svim primjenjivim propisima. Ključni su zahtjevi za pouzdanu primjenu umjetne inteligencije:

- Ljudsko djelovanje i nadzor; UI omogućuje potporu ljudskom djelovanju i temeljnim pravima, a ne smanjuje ili ograničava ili pogrešno usmjerava ljudsku autonomiju.
- Stabilnost i sigurnost su nužni kao pretpostavka pouzdane umjetne inteligencije; dovoljno sigurni algoritmi, pouzdani i stabilni da mogu rješavati pogreške
- Privatnost i upravljanje podacima korisnici i pružatelji bi trebali imati potpunu kontrolu nad vlastitim podacima, a podaci koji se na njih odnose ne smiju se upotrebljavati na njihovu štetu ili za njihovu diskriminaciju.
- Transparentnost je potrebno osigurati uz dosljednost sustava umjetne inteligencije. Sustavima umjetne inteligencije trebalo bi uzeti u obzir sve ljudske sposobnosti, vještine i zahtjeve te osigurati dostupnost tih sustava.
- Društvena i okolišna dobrobit sustava umjetne inteligencije. Trebali bi se upotrebljavati za poticanje pozitivnih društvenih promjena i za jačanje održivosti i ekološke odgovornosti.
- Potrebno je uspostaviti mehanizme kojima bi se utvrdile dužnosti i osigurala primjena (80).

Sustavi umjetne inteligencije morali bi biti usmjereni na čovjeka i temeljiti se na obvezi upotrebe sustava u službi općeg dobra, s ciljem poboljšanja ljudske dobrobiti i slobode.

4.19.1. PRAVO

Rast računalne snage, dostupnost podataka i napredak algoritama učinili su da umjetnu inteligenciju koristimo svakodnevno. Primjena umjetne inteligencije smatra se jednom od strateški najvažnijih tehnologija 21. stoljeća. Sve korisnike zabrinjava sigurnost i prava vezana uz prijenosa podataka putem mreže. Ulozi su visoki. Pristup umjetnoj inteligenciji odredit će kako će izgledati naš svijet. Bez koordinacije i usklađivanja zakona i pravila, gotovo će biti nemoguće da ovako veliki sustav ispravno funkcionira. Vrlo je bitno da se interes zdravstvenih djelatnika i pacijenata podjednako čuva. Propusti u prijenosu, u enkripciji podatka između pristupne točke i korisnika uvijek su mogući. Gotovo je nemoguće zamisliti vlasnika UI sustava koji će se opredijeliti za punu pravnu odgovornost za strojnu proizvodnju kad su ljudski životi u pitanju (32). Umjetna inteligencija mijenja prirodni tijek rada, zbog nje se radna mjesta otvaraju, druga nestaju, a većina će ih doživjeti transformaciju. Okvir smjernica za primjenu pouzdane UI su dane od strane Europske unije (Slika 32.)



Slika 32. Sustavi umjetne inteligencije kroz pouzdane okvire.

Izvor: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/HR/COM-2018-237-F1-HR-MAIN-PART-1.PDF>

Četiri etička načela, utemeljena na temeljnim pravima, koja se moraju poštovati kako bi se osiguralo da se sustavi umjetne inteligencije razvijaju, uvode i upotrebljavaju na pouzdan način. Određena su kao imperativi i stručnjaci za umjetnu inteligenciju uvijek bi trebali težiti njihovom poštivanju. U Povelji EU-a navode se temeljna prava na kojima se temelje osnovna načela etičke pouzdane primjene UI (81).

To su načela:

1. poštovanja ljudske autonomije;
2. sprečavanja nastanka štete;
3. pravednosti;
4. objašnjivosti.

Prema smjernicama, pouzdan sustav umjetne inteligencije bi trebao biti:

1. zakonit; poštujući sve primjenjive zakone i propise
2. etički; poštivanje etičkih načela i vrijednosti
3. robustan; iz tehničke perspektive, uzimajući u obzir njezino društveno okruženje (80)

Upravljanje privatnošću i podacima osim osiguravanja potpunog poštivanja privatnosti i zaštite podataka, moraju se osigurati i odgovarajući mehanizmi upravljanja podacima, uzimajući u obzir kvalitetu i integritet podataka, te osigurati legitimni pristup podacima. Ljudi moraju biti svjesni da su u interakciji s UI sustavom i moraju biti informirani o sposobnostima kao i ograničenjima sustava (80). Potrebno je osigurati primjerenu pravnu zaštitu. Činjenica je da se pomaci u pogledu osnovnih uvjeta i inovacija u Hrvatskoj ne odvijaju pretežito željenim intenzitetom. Stoga je važno shvatiti kako je nužno investirati u školovanje novih naraštaja u što u budućnosti ulagati. Napredak kibernetičkih uređaja treba se ostvariti tako da štiti dostojanstvo, autonomiju pojedinca tako da razmatra sigurnost, zdravlje i zaštitu ljudi, slobode, privatnosti, integriteta i digniteta te samoodređenja, nediskriminacije i zaštite podataka. Sve navedeno dovodi do nužnosti izrade aktualnog pravnog okvira. Svakom se jamči sigurnost i tajnost osobnih podataka (82).

Bez privole ispitanika, osobni podaci se mogu prikupljati, obrađivati i koristiti samo uz uvjete određene zakonom. Zakonom se uređuje zaštita podataka te nadzor nad djelovanjem informatičkih sustava u državi. „Zabranjena je uporaba osobnih podataka suprotna utvrđenoj svrsi njihovoga prikupljanja“. Isp. čl. 37 Ustava RH, 1990...NN 05/14 pročišćeni tekst (83). Brojni su oblici i načini ugroze i povrede prava podataka. Zadaća je osigurati čvrst zakonski okvir, koji će u potpunosti biti usklađen s pravnim okvirom zaštite podataka u Europskoj Uniji. Potrebno je osigurati zakonitost u prikupljanju, obradi, čuvanju i dostupnosti i podjeli podataka o zdravlju. Tehnologija je važna. Uzbudljiva, uvijek treba iskoristiti sve dobrobiti kroz njene mogućnosti koje pruža u skrbi za pojedinca. Nedoželjena uporaba osobnih podataka predstavlja činjenje kaznenog djela zato je važno zakonskom regulativom definirati čije je vlasništvo medicinska dokumentacija, tko i kako njome smije upravljati kao i koje su odgovornost vlasnika. Potrebno postupati prema Zakonu o zaštiti prava pacijenata, te Uredbi o zaštiti osobnih podataka (82).

Etika

Kodeksi etičkog ponašanja propisuju ponašanje zaposlenika prema određenim svjetonazorima i interesu, odnosno poslovnoj etici. Takvi kodeksi često ostavljaju prostora nedorečenosti, posebno kad su u pitanju pojedinačno i zajedničko djelovanje. Znanstvenici se nadaju da će implementacija UI u svim ovim poljima pomoći ljudima da pronađu više vremena i truda za socijalne aktivnosti, brigu za vlastitu obitelj, veći angažman u zajednici, savladavanje novih znanja. Ono gdje znanstvenici izražavaju zabrinutost jest u radu sa djecom i starijima. Implementacija robota u vrtiće i u skrbi za starije osobe otvara moralne dileme. Osim toga pacijente se nerijetko svodi na registracijske brojeve dodijeljene prilikom medicinske skrbi te je izražen manje holistički pristup čovjeku. Ljudi su ograničeni u svojim odnosima davanja pažnje i ljubavnosti prema drugoj osobi, dok sustav umjetne inteligencije može pretjerano i neprestano neograničeno usmjeriti sve resurse u izgradnji odnosa sa korisnikom, zamjenjujući time stvarni ljudski kontakt.

4.19.2. ZAŠTITA PRIVATNOSTI

Podaci i sve informacije sakupljene od korisnika spadaju u medicinsku dokumentaciju koja jest dokument o tijeku pacijentove bolesti i liječenja odnosno o zdravstvenom stanju pacijenta, načinu rada na mjestu pružanja zdravstvene zaštite. Ovaj dokument nastaje u zdravstvenoj ustanovi i potpisan je od ovlaštenog zdravstvenog radnika. Mogućnosti pametnih sustava da obrade i interpretiraju sakupljene podatke. Kako je sakupljanje i korištenje podataka automatizirano dobro je stoga postaviti pitanje o automatiziranoj zaštiti privatnosti, odnosno o kreiranju osobnog agenta, softvera koji će umjesto korisnika voditi računa o njegovim interesima, ali i zaštiti korisnika od neželjenih sadržaja ili zlouporabe osobnih podataka, poput nekog posrednika između čovjeka i Interneta. Pitanje koje bi se moglo postaviti u skoroj budućnosti je i zaštita privatnosti neuronskih podataka. Nekoliko razloga mogli bi biti značajni za brigu. Prvo, personalizirani zdravstveni podaci već su sada predmet rasprava kada se radi o pitanjima osobnih podataka i potencijalne patologije, a to pitanje ima i veću osjetljivost. U najgorem slučaju, može doći do pojave zlonamjernog hakiranja, virusa i spamova koji ciljaju na tijek podataka. Na kraju treba reći da iako danas prevladava primjena umjetne inteligencije na rješavanje određenih, vrlo specifičnih zadataka, postoje i realna očekivanja kako će generalna umjetna inteligencija zaživjeti tek sredinom ovog stoljeća. Mnogi znanstvenici iskazuju zabrinutost kako će generalna umjetna inteligencija, koju bi mogli postići u skoroj budućnosti, utjecati na čovječanstvo.

4.19.3. ZNAČI LI UMJETNA INTELIGENCIJA PROPAST ZA RADIOLOGIJU?

Umjetna inteligencija će zamijeniti radiologe, rečenica koja posljednjih 5 godina uzdrma medicinsku javnost ali i cijelo društvo. Međutim znanstvenici se slažu da će zamijeniti samo one koji primjenu i pojavu umjetne inteligencije ne prihvaćaju (84). Umjetna inteligencija može imati veliki utjecaj i može nas obogatiti više nego što smo sami kao fizička bića u mogućnosti (84). Osim što će pomoći u analiziranju radioloških slika i donošenju dijagnoze, pomoći će i kliničarima u segmentu humanističkog elementa jer ljudi su skloni sagorijevanju, umoru, a sve to uzrokuje ponekad manjak pozornosti usmjerene na pacijenta. Da bismo dobili najviše od umjetne inteligencije moramo obratiti pozornost na znanstvene podatke (84).

Višestruke studije su pokazale da su alati za umjetnu inteligenciju jednako uspješni ako ne i bolji od kliničkih liječniku prepoznavanju značajki na slikama i to brzo i vrlo precizno (64). Umjetna inteligencija neće preuzeti poslove radiologa, neke zadatke vjerojatno hoće, ali radiolozi će i dalje biti ključni za posao. Poslovi će se modificirati promijeniti, ali neće nestati (10). Izraženi su negativni osjećaji koji odražavaju mišljenja onih koji misle da medicina uopće neće trebati radiologe. Radiolozi su bili na čelu digitalne ere u medicini. Vodili su proces, budući da su prvi medicinski stručnjaci koji su usvojili računalne znanosti, a sada su vjerojatno najobimnije informirani zdravstveni djelatnici. Iako je uvođenje novih tehnologija uglavnom shvaćeno kao novi pristup stvaranju slika, inovacija je također duboko promijenila načine tretiranja, prezentiranja i pohranjivanja slika (2). Uloga radiologa ojačana je uvođenjem novih tehnologija. Radiologija je proširila svoj obim na modalitete oslikavanja bez zračenja, radiologija sada obuhvaća gotovo sve dijagnostičke medicinske slike, što je dokazano prisutnošću riječi “radiologija” u brojnim naslovima časopisa. Razumna sumnja je da se sada suočavamo s metodama koje ne pokrivaju samo proizvodnju medicinskih slika, nego također uključuju otkrivanje i karakterizaciju, ispravno ulazeći u dijagnostički proces.

4.20. POZITIVNI UTJECAJ

Već su 2013. godine autori opisali neke od pozitivnih zadataka izvršavanja primjenom i neposrednim učinkom UI. U razvoju umjetne inteligencije predviđa se da bi svjetski prvak u šahu moglo biti računalo osnovano na umjetnoj inteligenciji. Prioritet usluge UI je u izvješćivanju: automatski odabir nalaza kojima je potrebno brže djelovanje. Usporedba trenutnih i prethodnih pregleda, osobito u onkološkom praćenju za to je potrebno nekoliko desetaka minuta. UI to bi mogla učiniti umjesto nas izvlačeći podatke koji će se integrirati u izvješće i stvaranje zaključaka s obzirom na klinički kontekst i terapijsko upravljanje. Brza identifikacija negativnih studija barem u prvoj fazi, UI će pokazati osjetljivost i negativnu prediktivnu vrijednost u odnosu na specifičnost i pozitivnu prediktivnu vrijednost, pronaći normalne studije i ostaviti abnormalne za radiologe. Automatsko ponovno pozivanje i reprogramiranje pacijenata za nalaze koji zaslužuju praćenje slike.

Unutarnji stručni pregled izvješća. Praćenje obuke specijalizanata. Kontrola kvalitete rada radiološkog tehnologa i praćena komunikacija između radiologa i radiološkog tehnologa. Rudarenje podacima o relevantnim pitanjima, uključujući dozu zračenja. U srednjoročnom razdoblju otvorene su druge mogućnosti, kao što su predviđanje dijagnoze kancerogenih lezija u onkoloških bolesnika pomoću analize sastava i drugih naprednih pristupa. Predviđanje odgovora na liječenja na terapije za tumore. Procjena biološke važnosti graničnih slučajeva, kao što su patološke lezije dijagnosticirane putem biopsijskog nalaza snimanja dojki. Procjena funkcionalnih parametara, kao što je zadržka frakcijskog protoka iz CT koronarne angiografije koristeći duboko učenje. Detekcija perfuzijskih defekata i ishemije, npr. u slučaju defekata stresne perfuzije miokarda i inducirane ishemije (2). Segmentacija i modeliranje oblika, kao što je segmentacija tumora mozga ili segmentacija moždane strukture. Smanjenje difuzijske obrade MR podataka do jednog optimiziranog koraka, primjerice stvaranje mikro strukturnog predviđanja na osnovi vokselu po vokselu, kao i automatizirana segmentacija MR vrijednosti (2) Sve navedeno u pozitivne prednosti koje su ujedno i sigurni argumenti za prihvaćanje umjetne inteligencije u kliničku praksu.

4.20.1. ALGORITAM BOLJI OD LJUDI

Preobrazba koja se dogodila u prošlim stoljećima pružila je ljudima više prilika za razmišljanje. Brojne zadatke za koje je nekad bila neophodna ljudska inteligencija, povezivanje i izvođenje zaključaka, prepoznavanje, praćenje složenih događaja u ovom trenutku mogu najbolje rješenje ponuditi aplikacije umjetne inteligencije (29). Bojazan se javlja u fazi tolike usavršenosti da će se od ljudi tražiti da se u potpunosti odreknu samostalnog razmišljanja i rasuđivanja. Poslovi u budućnosti iziskivati će drugačiji skup vještina. Umjetna inteligencija ugrađena je danas u mnoge tehnologije. Osvaja iz dana u dan sve više područja, tako ne može ni zaobići ni medicinu. Greške u medicini mogu biti opasne po život. Pogrešna dijagnoza može voditi ka krivom načinu liječenja, čime ugrožavamo život pacijenta i činimo zdravstveni sustav nesigurnim. To je dio razloga zbog kojih se intenzivno radi na usavršavanju postupaka UI, primjećivanju grešaka. UI je alat stvaranja drugog mišljenja, alat precizne medicine stoga je budućnost s umjetnom inteligencijom neminovna (85).

Upotreba sustava UI u budućnosti će utjecati na većinu zanimanja. To ne znači da će radna mjesta nestati nego će se opisi poslova promijeniti, što je u uskoj vezi s velikim značajem cjeloživotnog učenja u današnjem društvu. Razvojem tehnologije i ljudske vještine se unaprjeđuju u procesu stalnog učenja koji tehnologija olakšava i ubrzava. Jednako kao što su elektrifikacija i digitalizacija olakšale i učinile učinkovitijima neke zadatke i procese, tako će upotreba strojnog i dubokog učenja osloboditi vrijeme i resurse (58). Kod industrija s kompleksnijim zadacima, inteligentni strojevi će raditi zajedno s ljudima (58). Golema novčana sredstva trebala bi potaknuti razvoj i primjenu umjetne inteligencije na način koji je sada teško predvidjeti. Pravci novih istraživanja u umjetnoj inteligenciji mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: oni koji su fokusirani na računalo - računalo interakcije te one koji su usmjereni na interakciju čovjek - računalo (3).

5. RASPRAVA

Uskoro bi svugdje, svi, mogli imati pristup istoj kvaliteti vrhunskog stručnjaka za radiološke dijagnostike i po povoljnoj cijeni. Primjena strojnog učenja u dijagnostici tek počinje, ambiciozniji sustavi uključuju kombinaciju više izvora podataka (CT, MR uz genomiku i s svim podacima pacijenata) u procjeni bolesti ili njezine progresije (11). Otkrivanje raka pluća ili moždanog udara na temelju CT-a, probir raka dojke, raka debelog crijeva otkrivanje mnogih drugih bolesti samo su dio radiologije i medicine koje je zahvatila primjena umjetne inteligencije. Procjena rizika od iznenadne srčane smrti ili drugih srčanih bolesti na temelju elektrokardiograma i srčanih MR slika. Sve su slučajevi gdje postoji mnogo dobrih podataka, koje je još potrebno prikupljati, jer stvaranjem veće baze podataka, stvara se i bolji mogućnost izlaza postojećih algoritama. Algoritmi UI postaju jednako dobri u dijagnostici kao i stručnjaci. Razlika je u tome što algoritam može izvući zaključke u djeliću sekunde i može se reproducirati jeftino u cijelom svijetu. Novi putovi biomedicinskih istraživanja uključuju prikupljanje i analizu velikog broja podataka koji velikom brzinom dolaze iz raznih izvora, različito strukturirani, zatim tu su i analize pojedinačnih stanica, struktura i funkcija molekula značajnih za biološke procese.

Stvaraju se novi eksperimentalni i računalni modeli humanih bolesti. Događa se integracija „omics” podataka (genom, transkriptom, metabolom), modificiranje genoma. Nanoznanost i nanotehnologija, translacijska istraživanja zdravlja i približavanje biomedicinskih specijalnosti postaje stvarnost. Tehnološka umreženost služi prikupljanju podataka iz različitih sfera života pacijenata kako bismo imali potpuniju sliku o njihovom zdravlju. To uključuje biološke, genetske, medicinske i podatke o životnom stilu pacijenta. Kako se radi o osjetljivim podacima potrebno je obratiti posebnu pozornost te zaštititi pacijenta, korisnika usluge odnosno potrošača. Danas prikupljanje, obrada podataka te zaštita podataka ključna je i najvažnija tema u procesu povezivanja i konsolidiranja informacija.

Relevantne prakse UI će doprinijeti rasterećenju administrativnih i drugih resursa kako za provedbu navedenih postupaka tako i za nadzor nad njima. Uistinu, ovo je novi izazov, ali i dodatna vrijednost UI. Automatizacija i umjetna inteligencija utječu na zapošljavanje i ljudski um. Na isti način na koji je industrijska revolucija učinila većinu ljudi fizički slabijima, revolucija umjetne inteligencije imat će za posljedicu da postanemo manje sposobni intelektualno, možemo reći uz mlitav obujam mozga, masovno će nas pokretati tehnologija (86). Većina rasprava o proboju robota, umjetne inteligencije razumljivo se usredotočila na pojavu bojaznosti vezane uz gubitak radnih mjesta. Nove tehnologije kao što je to bilo u industrijskoj revoluciji mijenjaju ljudsku i ostalu vrstu. Zbog toga se mijenja i priroda posla. Dakle, poslovi će biti samo prenamijenjeni, ali posao radiologa i radiološkog tehnologa neće nestati. Rad s njima u istraživanju i razvoju aplikacija UI u radiologiji strateški je problem. UI će morati osigurati zadovoljavajuće poštivanje standarda sigurnosti za pacijenata i da se stvori transparentnost pravosuđa što omogućuje dodjelu pravne odgovornosti ljudskog autoriteta. Etička i pravna odgovornost za donošenje odluka u zdravstvu ostat će stvar prirodne inteligencije čovjeka, liječnika. S tog stajališta, vjerojatno je da će multidisciplinarni UI tim preuzeti odgovornost u teškim slučajevima, uzimajući u obzir relevantne, ali ne uvijek uvjerljive rezultate onoga što je UI pružila.

Osviješteni radiolog treba biti svjestan osnovnih načela strojnog i dubokog učenja, karakteristika skupova podataka za njihovo osposobljavanje i njihova ograničenja. Radiološki timovi ne moraju poznavati najdublje pojedinosti tih sustava, ali moraju naučiti tehnički rječnik koji znanstvenici koriste za učinkovito komuniciranje s njima. Sadašnjost je pravo vrijeme za rad s UI u radiologiji. Može se istaknuti kako je unatoč uspjesima područje umjetne inteligencije još uvijek vrlo daleko od cjelovitih spoznajnih zaključaka, premda je cijela priča dobila zavidnu teorijsku i filozofsku pozadinu, većina je istraživanja usmjerena ipak na ključno rješavanje inženjerskog rada. Iz tog razloga ne vlada zabrinutost i opterećivanja o snovima o stvaranju umjetnih mislećih bića. Ne može se pouzdano reći gdje su krajnje granice i dosezi ove tehnologije i kakve će sve primjene ona imati.

6. ZAKLJUČAK

Najvažnije za zaključak je da tehnologija naravno nikad ne smije nadoknaditi nečije neznanje ili neiskustvo. Znanosti i društvu treba optimističan tehnološki realizam i zdrav pristup tehnologiji, na koju se gleda kao nešto što će nam pomoći u budućnosti i sadašnjosti, ali ne i zamijeniti nas, kao sustav koji će unaprijediti i nadograditi naš svijet. Moramo biti svjesni da već imamo tehnologiju koja nam pomaže nadići naše prirodne tjelesne i mentalne granice i promijeniti ili proširiti našu stvarnost. Već je pokazano da skupine ljudi i UI koji rade zajedno čine točnija predviđanja u usporedbi s ljudima ili samim UI, obećavajući da će postići višu razinu točnosti u dijagnostici slike i čak prognozi. Iako se tehnike UI razlikuju od dijagnoze do prognoze, obje aplikacije i dalje trebaju biti potvrđene, što je izazovno zbog velike količine podataka potrebnih za postizanje rezultata. Stoga je potrebno razviti stroge kriterije ocjenjivanja i smjernice za izvješćivanje o UI kako bi se utvrdila njegova uloga u radiologiji i općenito u medicini. Umjetna inteligencija kao grana računalne tehnološke znanosti bavi se proučavanjem strojeva i programa koje karakterizira inteligentno ponašanje koje simulira intelektualni rad kao što je ljudsko razmišljanje, prosuđivanje. Umjetna inteligencija uključuje procese rasuđivanja, znanja, automatiziranog planiranja, učenja, obrade, percepcije i manipulacije podacima, stoga je nedvojbeno pronašla mjesto primjene u radiologiji i digitalnom radiološkom slikanju.

Tijekom posljednjih desetljeća svjedoci smo važnosti dijagnostičkog snimanja i porastu te primjeni najnovijih tehnoloških dostignuća u svim modalitetima radiološkog oslikavanja. Uvidom u literaturu pokazana je točnost, preciznost te stalni porast u publiciranju i rastućem interesu u istraživanju vezanom za ovu temu za koju je pokazano da je sigurna, osjetljiva, specifična, djelotvorna, objektivna te uz daljnji razvoj će nadvladati sve prepreke koje će nadmašiti ljudske sposobnosti. Najvažnije je da su njene dobrobiti korištene kao alat pomoći, a ne zamjene čovjeku. Umjetna inteligencija postupno mijenja tradicionalni radiološki model, što je budući smjer i trend medicinskog razvoja. Stalni porast broja indeksiranih radova stvara veće i kvalitetne baze znanja time će i primjena UI sigurno i dalje utjecati na razvoj radiologije i to brže nego drugim medicinskim poljima.

Radiološki timovi su navikli na suočavanje se s tehnološkim izazovima jer od samih početaka svoje povijesti, radiologija je bila polje plodno za tehnološki razvoj. Promijenit će praksu radiologije više nego bilo što od doba Roentgena. Radiolozi mogu igrati vodeću ulogu u ovoj nadolazećoj promjeni. Izazovi su uvijek pred nama, i jučer i danas, a bit će i sutra. Samo je pitanje možemo li ili znamo na njih odgovoriti, te prepoznamo li ih? Sustavi umjetne inteligencije morali bi biti usmjereni na čovjeka i temeljiti se na obvezi upotrebe sustava u službi općeg dobra, sa ciljem poboljšanja ljudske dobrobiti i slobode, poštujući zakone, prva i etičke norme.

7. SAŽETAK

U radu je obrađena tema umjetne inteligencije i njezina primjena danas u radiologiji, radiografiji i drugim područjima. U svijetu velikih podataka i poplave informacija sustavi koji primjenjuju umjetnu inteligenciju postaju sve značajniji. U radu su opisane i različite metode kojima se ostvaruje umjetna inteligencija. One uključuju strojno učenje, umjetne neuronske mreže, duboko učenje. Kroz rad su prikazani primjeri uporabe sustava temeljenih na umjetnoj inteligenciji. Ovim diplomskim radom prikazana su dosadašnja znanja, istraživanja i porast publiciranja primjene umjetne inteligencije u radiografiji. Sustavi umjetne inteligencije morali bi biti usmjereni na čovjeka i temeljiti se na obvezi upotrebe sustava u službi općeg dobra, s ciljem poboljšanja ljudske dobrobiti i slobode, poštujući zakone, prva i etičke norme. Umjetna inteligencija uključuje procese rasuđivanja, znanja, automatiziranog planiranja, učenja, obrade, percepcije, manipulacije podacima, stoga je nedvojbeno primjenu pronašla i u radiografiji. Pregledana je literatura i identificirani su članci za primjenu umjetne inteligencije u područjima radiografije poglavito mamografije, ultrazvuka, primjene u Computed Aided Detection (CAD), CT-a, MR-a te u drugim poljima gdje se koriste dijagnostički radiološki modaliteti oslikavanja. Jedno od najperspektivnijih područja inovacija gdje je zabilježen značajan rast u publiciranju u zdravstvu je primjena umjetne inteligencije (UI), prvenstveno u radiologiji.

Ključne riječi:

Umjetna inteligencija, neuronske mreže, radiologija, radiografija, duboko učenje, strojno učenje, radiomics, precizna medicina, radioterapija, medicinske slike, baze podataka

8. SUMMARY

One of the most promising areas of health innovation is the application of artificial intelligence (AI), primarily in radiology for medical imaging. This thesis provides basic definitions of terms “machine learning” „deep learning“ and analyses the integration of AI into radiology. Publications on AI have drastically increased in last five years. In this paper we deal with the topic of artificial intelligence and its application in radiology, radiography and other fields. In the world of large data and flood of information, systems that apply artificial intelligence become more and more important. Different methods of artificial intelligence are described. They include machine learning, artificial neural networks, deep learning. Artificial intelligence systems should be oriented to mankind in the service of the general good, improving human well-being, respecting laws and ethic norms. Artificial intelligence involves processes of reasoning, knowledge, automated planning, learning, processing, perception, manipulation of data, so it has undoubtedly found its place in radiography. The literature has been reviewed and articles have been identified for the application of artificial intelligence in areas of x-rays, especially mammography, ultrasound, application to Computed Aided Detection (CAD), CT, MRI and other fields where diagnostic radiological modalities of imaging are used. One of the most promising areas of innovation in healthcare is the use of artificial intelligence (UI), primarily in radiology.

Keywords:

Artificial intelligence, neural networks, radiology, radiography, deep learning, machine learning, radiomics, precision medicine, radiotherapy, medical images, databases

9. LITERATURA

1. Mičunović M, Badurina B, Bosančić B. The occurrence of technological triad: descriptive concept of today's totality of reality: opisni pojam današnje totalne realnosti. Osijek: Pregledni znanstveni članak. 2016. Dostupno na URL: <https://repositorij.ffos.hr/en/islandora/object/ffos%3A2171/datastream/FILE0/view> (pristupljeno 1.6.2019)
2. Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. Milan, Italy: European Radiology Experimental. 2018. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6199205/> (pristupljeno 5.6.2019)
3. Kovač, L. Umjetna inteligencija danas (Diplomski rad). Sveučilište u Rijeci: 2015. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:186:606497> (pristupljeno 3.6.2019)
4. Gajdek D. Upotreba umjetne inteligencije u klasifikaciji analitičkih podataka i prepoznavanju uzoraka ponašanja. Završni rad. Zagreb. 2016. Dostupno na URL: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fkit:350/preview>
5. Blaž Z, Lugović S. Umjetna inteligencija u poučavanju mišljenja i donošenju odluka - socio-tehnička perspektiva. Zagreb. 2015. POLYTECHNIC & DESIGN. Dostupno na URL: <https://www.scribd.com/document/379114572/01-Balaz-Lugovic-Umjetna-Inteligencija> (pristupljeno 7.6.2019)
6. Valerijev P. Povijest i perspektiva razvoja umjetne inteligencije u istraživanju uma. Zagreb. 2006. Dostupno na URL: https://www.pilar.hr/wpcontent/images/stories/dokumenti/zbornici/mozak_i_um/mozak_i_um_105.pdf (pristupljeno 10.06.2019)
7. Majić S. Primjena strojnog učenja u svrhu detektiranja anomalija u streaming podacima (Diplomski rad) Osijek. 2017. Dostupno na URL: http://www.efos.unios.hr/studij-poslovna-informatika/wp-content/uploads/sites/31/2017/09/Majic_Primjena-strojnog-u%C4%8Denja-u-svrhu-detektiranja-anomalija-u-streaming-podacima.pdf
8. Simonić A. Tragovima znanja u budućnost; Quo vadis scientia. Sveučilište u Rijeci, Vitagraf. 1999. str.142-143. Dostupno u Sveučilišnoj knjižnici Split
9. Fornell D. How Artificial Intelligence Will Change Medical Imaging. 2017. Imaging Technology News. Dostupan na URL: <https://www.itnonline.com/article/how-artificial-intelligence-will-change-medical-imaging> (pristupljeno 11.6.2019)

10. The ultimate guide to AI in radiology. 2019. Quantib B.V. Dostupno na URL: <https://www.quantib.com/the-ultimate-guide-to-ai-in-radiology> (pristupljeno 4.6.2019)
11. Artificial Intelligence in Medicine. 2019. Data Revenue GmbH. Dostupno na URL: <https://www.datarevenue.com/en/usecases/artificial-intelligence-in-medicine> (pristupljeno 20.6.2019)
12. Kolar M. Programski sustavi za podršku odlučivanju u medicini (Diplomski rad). 2017. Osijek. Dostupno na URL: <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:1662/preview> (pristupljeno 15.06.2019)
13. Pletikosa M. Primjena metoda umjetne inteligencije na povećanje sigurnosti uloga za pristup bazama podataka (Diplomski rad). Zagreb. 2010. Dostupno na URL: https://bib.irb.hr/datoteka/476951.Diplomski_rad_br.45_-_Marko_Pletikosa.pdf (pristupljeno 11.6.2019)
14. Gulan M. Strojno učenje u autonomnom upravljanju vozilom (Diplomski rad). Zagreb. 2018. Dostupno na URL: https://bib.irb.hr/datoteka/949039.Final_0036493100_41.pdf (pristupljeno 17.6.2019)
15. Lindner M. Adding value with AI in medical imaging. 2017. Siemens Healthineers. URL:<https://www.siemens-healthineers.com/news/mso-artificial-intelligence-in-radiology.html> (pristupljeno 5.06.2019)
16. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Lawrence H. Schwartz, Hugo J. W. L. Aerts. Artificial intelligence in radiology. Nat Rev Cancer. 2018. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6268174/> (pristupljeno 16.6.2019)
17. Duboko učenje. Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva. 2017 Dostupno na URL: <https://www.fer.unizg.hr/predmet/dubuce>
18. Bašić B. D, Čupić M, Šnajder J. Umjetne neuronske mreže. Zagreb. 2008. Dostupno na URL:https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/UmjetneNeuronskeMreze.pdf, (pristupljeno 14.6.2019)
19. Novakovic B.M. Umjetna inteligencija i robotika. 2015. Zagreb. Dostupno na URL: https://www.researchgate.net/publication/278403537_Umjetna_inteligencija_i_robotika (pristupljeno 4.6.2019)
20. Modha D, Introducing a Brain-inspired Computer, 2014. Dostupno na URL: <http://www.research.ibm.com/articles/brain-chip.shtml> (pristupljeno 19.6.2019)

21. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, i suradnici. Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists. JNCI: Journal of the National Cancer Institute. 2019. Dostupno na URL: <https://doi.org/10.1093/jnci/djy222> (pristupljeno 5.6.2019)
22. Raičević S. Baze podataka kao izvor informacija o vrednovanju naučnih radova u medicini. Medical Journal of Montenegro. 2013. Dostupno na URL: <http://see-articles.ceon.rs/data/pdf/2336-9140/2013/2336-91401301013R.pdf> (pristupljeno 7.6.2019)
23. Portal elektroničkih izvora 2019. Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, Dostupno na URL: <http://baze.nsk.hr/baza/scopus/> (pristupljeno 10.6.2019)
24. Centar za znanstvene informacije. Dostupan na URL: <http://lib.irb.hr/web/hr/baze-podataka/item/747-scopus.html> (pristupljeno 11.6.2019)
25. Metodologija. URL: https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_promet_3/Interni_materijali-skripta-_osnove_metodologije.pdf (pristupljeno 13.6.2019)
26. Elsevier. Scopus in detail: what does it cover?
Dostupno na URL : <http://www.info.scopus.com/detail/what>. (pristupljeno 10.6.2019)
27. Prošić A. Analiza citata i njihova usporedba sa faktorom odjeka. (Diplomski rad) Zagreb. 2013. Dostupno na URL:
http://repozitorij.fsb.hr/2265/1/16_05_2013_diplomski_rad-_Antonio_Protic.pdf
(pristupljeno 14.6.2019)
28. Palčić E. Usporedba hrvatskih i talijanskih znanstvenih časopisa iz područja društvenih znanosti. (Diplomski rad). Zagreb. 2017.
Dostupno na URL: <http://darhiv.ffzg.unizg.hr/id/eprint/9031> (pristupljeno 13.6.2019)
29. Slade-Šilović I. Medicinska informatika, Razvoj umjetne inteligencije u zdravstvu i zdravstvo sutrašnjice. Zagreb. 2016. Dostupno na URL:
https://bib.irb.hr/datoteka/914096.Medix_Slade-Silovic.pdf (pristupljeno 11.6.2019)
30. Raffy P, Artificial Intelligence in Radiology. 2018. Dostupno na URL:
<https://www.changehealthcare.com/blog/radiology-artificial-intelligence/> (pristupljeno 10.6.2019)
31. Bresnick J. Top 5 Use Cases for Artificial Intelligence in Medical Imaging.
Dostupno na URL: <https://healthitanalytics.com/news/top-5-use-cases-for-artificial-intelligence-in-medical-imaging> (pristupljeno 12.6.2019)

32. Mohan C. SM. Artificial intelligence in radiology - Are we treating the image or the patient? *Indian J Radiol Imaging*. 2018.
Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6038229/>
(pristupljeno 15.6.2019)
33. Wang S, Summers RM. Machine learning and radiology. *Med Image Anal*. 2012.
Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3372692/>
(pristupljeno 17.6.2019)
34. Mihalinec D. Vođenje robota koristeći 3D vizijski sustav. Zagreb. 2015.
Dostupno na URL: <http://repozitorij.fsb.hr/4532/1/Diplomski%20Mihalinec.pdf>
(pristupljeno 14.6.2019)
35. Hovet S, Ren H, Xu S, Wood B, Tokuda J. MRI-powered biomedical devices. 2018.
Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29141515> (pristupljeno 18.06.2019)
36. Visentini-Scarzanella M, Sugiura T, Kaneko T, Koto S. Deep monocular 3D reconstruction for assisted navigation in bronchoscopy. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2017. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28508345>
(pristupljeno 16.6.2019)
37. Matthias Nathanaël van Oosterom, Myrthe Adriana Engelen, Nynke Sjoerdije van den Berg. Navigation of a robot-integrated fluorescence laparoscope in preoperative SPECT/CT and intraoperative freehand SPECT imaging data: a phantom study. *J Biomed Opt*. 2016. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27548770>
(pristupljeno 11.6.2019)
38. Nikolić G. Roboti u medicini (Stručni rad). Zagreb. 2018. Dostupno na URL: <https://hrcak.srce.hr/file/287573> (pristupljeno 20.6.2019)
39. Kajiwara N, Kato Y, Hagiwara M, Cost-Benefit Performance Simulation of Robot-Assisted Thoracic Surgery As Required for Financial Viability under the 2016 Revised Reimbursement Paradigm of the Japanese National Health Insurance System. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29343662> (pristupljeno 22.6.2019)
40. Fomenko A, Serletis D. Robotic Stereotaxy in Cranial Neurosurgery: A Qualitative Systematic Review. *Neurosurgery*. 2018.
Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29253265> (pristupljeno 13.6.2019)

41. Li G, Su H, Cole GA. Robotic system for MRI-guided stereotactic neurosurgery. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2015. Dostupno na URL:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4428978/> (pristupljeno 28.6.2019)
42. 10-Minute History of Radiology: Overview of Monumental Inventions. 2017.
URL:<https://www.bicrad.com/blog/2017/6/9/10-minute-history-of-radiology-overview-of-monumental-inventions.> (pristupljeno 14.6.2019)
43. Oxipit's Chest X-ray Search Solution Selected as One of Top Innovations by SIIM; 2018. URL:https://cdn.ymaws.com/siim.org/resource/resmgr/siim2018/pdfs/pr18_oxipit-0424.pdf (pristupljeno 20.6.2019)
44. Robert J. Gillies , Paul E. Kinahan, Hedvig Hricak. *Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data.* 2015.
Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2015151169> (pristupljeno 17.6.2019)
45. Qin C, Yao D, Shi Y, Song Z. Computer-aided detection in chest radiography based on artificial intelligence: a survey. *Biomed Eng Online.* 2018. Dostupno na URL:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30134902> (pristupljeno 19.6.2019)
46. Shiraishi J1, Li Q, Appelbaum D, Doi K. Computer-aided diagnosis and artificial intelligence in clinical imaging. *Semin Nucl Med.* 2011.
URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21978447> (pristupljeno 14.6.2019)
47. GE Healthcare; Senographe SecondLook Digital CAD sistem; Priručnik za operatere. 2009. URL:https://www.icadmed.com/assets/secondlook_ifu_ge_serbian.pdf
(pristupljeno 20.6.2019)
48. Maryellen L. Giger, Kunio Doi, HeberMacMabon, RobertM. Nishikawa. An "Inteffigent" Workstation for Computer-aided Diagnosis. (pristupljeno 21.6.2019)
URL:<https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiographics.13.3.8316671>
49. Computer-Aided Diagnosis and Artificial Intelligence in Clinical Imaging.
URL:https://www.researchgate.net/publication/51705200_Computer-Aided_Diagnosis_and_Artificial_Intelligence_in_Clinical_Imaging
(pristupljeno 21.6.2019)
50. Arenson RL, Chakraborty DP, Seshadri SB, Kundel HL. The digital imaging workstation. 1990. *J Digit Imaging.* 2003. Dostupno na URL:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3045123/> (pristupljeno 14.6.2019)

51. Ginneken B. Fifty years of computer analysis in chest imaging: rule-based, machine learning, deep learning. *Radiol Phys Technol.* 2017. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28211015> (pristupljeno 20.6.2019)
52. Benzaquen J, Boutros J, Marquette C, Delingette H, Hofman P. Lung Cancer Screening, Towards a Multidimensional Approach: Why and How? 2019. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6406662/> (pristupljeno 17.6.2019)
53. Aberle D.R., Adams A.M., Berg C.D., Black W.C Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. 2011. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4356534/> (pristupljeno 16.6.2019)
54. Zvonko Herold. Strukturiranje baze znanja u procesu konstruiranja. (Disertacija). Dostupno na URL: https://www.cadlab.fsb.hr/upload/db/pdfs/dissertations/hr/id_40_zh-doktorat.pdf (pristupljeno 14.6.2019)
55. Rajpurkar P, Hannun AY, Haghpanahi M, Bourn C, Ng AY. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks. 2017. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30617320> (pristupljeno 10.06.2019)
56. Sahiner B, Chan HP, Hadjiiski LM, et al. Effect of CAD on radiologists' detection of lung nodules on thoracic CT scans: analysis of an observer performance study by nodule size. *Acad Radiol.* 2009. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2810535/> (pristupljeno 11.6.2019)
57. Carlos Collet, Yoshinobu Onuma, Daniele Andreini, Coronary computed tomography angiography for heart team decision-making in multivessel coronary artery disease. *European Heart Journal.*
URL: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/39/41/3689/5127268> Kreativni strojevi
58. Ericsson. Dostupno na URL: <https://www.ericsson.hr/20180820-kreativni-strojevi> (pristupljeno 11.6.2019)
59. Radiographer (Medical Imaging Technologist)
Dostupno na URL: <https://www.insideradiology.com.au/radiographer-medical-imaging-technologist/> (pristupljeno 22.6.2019)
60. Melissa Rohman. Artificial Intelligence AI and machine learning in radiology: 4 things to know. 2018. Dostupno na URL: <https://www.healthimaging.com/topics/artificial-intelligence/ai-and-machine-learning-radiology-4-things-know> (pristupljeno 15.6.2019)

61. Francesco Sardaneli. Trends in radiology and experimental research European Radiology Experimental. 2017.
Dostupno na URL: <https://eurradiolexp.springeropen.com/articles/10.1186/s41747-017-0006-5> (pristupljeno 19.6.2019)
62. Understanding the Basics of Clinical Decision Support Systems. Dostupno na URL: <https://healthitanalytics.com/features/understanding-the-basics-of-clinical-decision-support-systems> (pristupljeno 17.6.2019)
63. Thrall JH, Li X, Li Q, Cruz C, Do S, Dreyer K, Brink J. Artificial Intelligence and Machine Learning in Radiology: Opportunities, Challenges, Pitfalls, and Criteria for Success. 2018. J Am Coll Radiology. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29402533> (pristupljeno 16.6.2019)
64. Keith Loria. How artificial intelligence is being used now and where it's headed. Putting the AI in Radiology Radiology Today. Dostupno na URL: <https://www.radiologytoday.net/archive/rt0118p10.shtml> (pristupljeno 3.6.2019)
65. Mohammadhadi Khorrani, Monica Khunger. Combination of Peri- and Intratumoral Radiomic Features on Baseline CT Scans Predicts Response to Chemotherapy in Lung Adenocarcinoma. 2019. Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/ryai.2019180012> (pristupljeno 5.6.2019)
66. Y Wu, M L Giger, K Doi, C J Vyborny, R A Schmidt, C E Metz. Artificial neural networks in mammography: application to decision making in the diagnosis of breast cancer. Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiology.187.1.8451441> (pristupljeno 3.6.2019)
67. Artificial intelligence methods for the diagnosis of breast cancer by image processing: a review. Dostupno na URL: <https://read.qxmd.com/read/30555254/artificial-intelligence-methods-for-the-diagnosis-of-breast-cancer-by-image-processing-a-review> (pristupljeno 7.6.2019)
68. Nindrea RD1,2, Aryandono T, Lazuardi L, Dwiprahasto I. Diagnostic Accuracy of Different Machine Learning Algorithms for Breast Cancer Risk Calculation: a Meta-Analysis. 2018. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30049182> (pristupljeno 4.6.2019)

69. Jay A. Baker, Eric L. Rosen, Joseph Y. Lo, Edgardo I. Gimenez, Computer-Aided Detection (CAD) in Screening Mammography: Sensitivity of Commercial CAD Systems for Detecting Architectural Distortion. *American Journal of Roentgenology* 2003. Dostupno na URL: <https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/ajr.181.4.1811083?src=recsys> (pristupljeno 4.6.2019)
70. Alejandro Rodríguez-Ruiz, Elizabeth Krupinski, Detection of Breast Cancer with Mammography: Effect of an Artificial Intelligence Support System. 2018. Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2018181371> (pristupljeno 4.6.2019)
71. Moore JM, Sala E, Amarin A, Martinez H. CyberKnife Radiosurgery in the Multimodal Management of Patients with Cushing Disease. 2018. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29355797> (pristupljeno 1.6.2019)
72. Bi WL, Hosny A, Schabath MB, Giger ML, Birkbak NJ. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. 2019. *CA Cancer J Clin*. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30720861> (pristupljeno 2.6.2019)
73. Bibault JE, Burgun A, Giraud P. Artificial intelligence applied to radiation oncology. *Cancer Radiotherapy*. 2017. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28433591> (pristupljeno 3.6.2019)
74. Bilwaj Gaonkar, Joel Beckett, Diane Villaroman. Quantitative Analysis of Neural Foramina in the Lumbar Spine: An Imaging Informatics and Machine Learning Study. 2019. Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/ryai.2019180037> (pristupljeno 12.6.2019)
75. Kang Wang, Adrija Mamidipalli, Tara Retson. Automated CT and MRI Liver Segmentation and Biometry Using a Generalized Convolutional Neural Network. 2019. Dostupno na URL: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/ryai.2019180022> (pristupljeno 3.6.2019)
76. Kiryu S, Yasaka K, Akai H, Nakata Y. Deep learning to differentiate parkinsonian disorders separately using single midsagittal MR imaging: a proof of concept study. 2019. Dostupno na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31264017> (pristupljeno 2.6.2019)
77. Artificial Intelligence May Help Reduce Gadolinium Dose in MRI. Dostupno na URL: https://press.rsna.org/timssnet/media/pressreleases/14_pr_target.cfm?ID=2049 (pristupljeno 22.6.2019)

78. Huang Q, Zhang F, Li X. Machine Learning in Ultrasound Computer-Aided Diagnostic Systems: 2018. Dostupan na URL:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5857346/> (pristupljeno 9.6.2019)
79. Wu GG, Zhou LQ, Xu JW, Wang JY, Wei Q, Deng YB, Cui XW, Dietrich CF. Artificial intelligence in breast ultrasound. 2019. Dostupno na URL:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30858931> (pristupljeno 4.6.2019)
80. Europski parlament. Pravila građanskog prava o robotici. Dostupno na URL:
http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2017-0051_HR.pdf?redirect
(pristupljeno 18.6.2019)
81. Komunikacija komisije europskom parlamentu, europskom vijeću, vijeću, europskom gospodarskom i socijalnom odboru i odboru regija. Umjetna inteligencija za Europu. 2018. Dostupno na URL:
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/HR/COM-2018-237-F1-HR-MAIN-PART-1.PDF> (pristupljeno 16.6.2019)
82. Rasprave; Okrugli stol „One Health Medicine“ Dostupno na URL:
<https://hrcak.srce.hr/file/287640> (pristupljeno 5.6.2019)
83. Protrka N. Normativna uređenost zaštite osobnih podataka u Republici Hrvatskoj. (Stručni članak) 2012. Dostupno na URL:
https://bib.irb.hr/datoteka/951885.nprotrka_1.pdf (pristupljeno 11.6.2019)
84. Is Artificial Intelligence The Doom of Radiology? Dostupno na URL:
<https://www.itnonline.com/content/artificial-intelligence-doom-radiology> (pristupljeno 1.6.2019)
85. Kompjutor koji nepogrešivo otkriva bolesti. Internetski članak. Dostupno na URL:
<https://www.dw.com/hr/kompjutor-koji-nepogre%C5%A1ivo-otkriva-bolesti/a-47554598> (pristupljeno 12.6.2019)
86. Automatizacija i umjetna inteligencija utjecat će na zapošljavanje - i ljudski um. Internetski članak. Poslovni dnevnik. Dostupan na URL:
<http://www.poslovni.hr/komentari/automatizacija-i-umjetna-inteligencija-utjecat-ce-na-zaposljavanje-i-ljudski-um-337014> (pristupljeno 4.6.2019)
87. Shiraishi J, Li Q, Appelbaum D, Doi K. Computer-aided diagnosis and artificial intelligence in clinical imaging. *Semin Nucl Med.* 2011 Nov;41(6):449-62. doi:10.1053/j.semnuclmed.2011.06.004. Review. PubMed PMID: 21978447.

88. Del Ciello A, Franchi P, Contegiacomo A, Cicchetti G, Bonomo L, Larici AR. Missed lung cancer: when, where, and why?. *Diagn Interv Radiol*. 2017. Dostupan na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5338577/>
89. Boon IS, Au Yong TPT, Boon CS. Assessing the Role of Artificial Intelligence (AI) in Clinical Oncology: Utility of Machine Learning in Radiotherapy Target Volume Delineation. *Medicines (Basel)*. 2018. Review. Dostupan na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30544901>
90. Lassau N, Estienne T, de Vomecourt P, Azoulay M, Cagnol J, Garcia G, Five simultaneous artificial intelligence data challenges on ultrasound, CT, and MRI. *Diagn Interv Imaging*. 2019. Dostupan na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30885592>
91. Hainc N, Federau C, Stieltjes B, Blatow M, Bink A, Stippich C. The Bright, Artificial Intelligence-Augmented Future of Neuroimaging Reading. *Front Neurol*. 2017. Dostupan na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28983278>
92. Shen TL, Fu XL. Application and prospect of artificial intelligence in cancer diagnosis and treatment. *Zhonghua Zhong Liu Za Zhi*. 2018. Dostupan na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30605975>
93. Arimura H, Soufi M, Kamezawa H, Ninomiya K, Yamada M. Radiomics with artificial intelligence for precision medicine in radiation therapy. *J Radiat Res*. 2019 Dostupan na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30247662>
94. Mambou SJ, Maresova P, Krejcar O, Selamat A, Kuca K. Breast Cancer Detection Using Infrared Thermal Imaging and a Deep Learning Model. *Sensors (Basel)*. 2018. Dostupan na URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30149621>

10. ŽIVOTOPIS

Osobne informacije: Ivana Križić (20/03/1994) **Adresa:** Gaj 10, Žrnovnica, Split

Telefon: 021-328-281 098 160 4881 **E-mail:** ikrizic73@gmail.com

Radno iskustvo

10/12/2015–09/12/2016: Stručno osposobljavanje, Klinički bolnički centar Split, Firule

2018/Sezonski posao: Buffet Fife

16/11/2018: Rad na određeno, Klinički bolnički centar Split

Obrazovanje i osposobljavanje

2016/2017: Upisan diplomski studij radiološke tehnologije, Sveučilišni odjel zdravstvenih studija

19/07/2012–13/07/2015 Sveučilišna prvostupnica (baccallaurea) radiološke tehnologije, Sveučilišni odjel zdravstvenih studija, Ruđera Boškovića 35, 21000 Split (Hrvatska),

09/2008–05/2012 Medicinska sestra, Zdravstvena škola Split, Split (Hrvatska)

Materinski jezik: Hrvatski

Dodatno osposobljavanje: Njemački jezik, Uvjerenje škola stranih jezika Pitagora (A1)

Engleski jezik (potvrda državne mature, II. semestra medicinskog engleskog SOZS)

Dodatne informacije

Vozačka dozvola : B **Profil na LinkedIn:** <https://www.linkedin.com/in/ivanakrizic/>

Volonterski rad: Udruga Alumni SOZS, javno zdravstvene manifestacije, Marijini obroci – humanitarne utrke, EURO 2018 – Rukometno prvenstvo- volonter-usmjerivač

Studentske aktivnosti:

- Kongres hrvatskog društva radiologa s međunarodnim sudjelovanjem u Splitu - 4.-7. listopada 2018. Sudjelovanje e-poster - Radiološke dijagnostičke metode u trudnoći (Ivana Križić, Josipa Brković)
- Studentski zbor SOZS, predstavnica studenata radiološke tehnologije diplomskih studija.
- Posjet Europskom radiološkom kongresu u Beču 2018. i 2019.