

# Telemedicina i umjetna inteligencija u oftalmologiji

---

Šeba, Vladimir

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:099507>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI  
SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Vladimir Šeba

TELEMEDICINA I UMJETNA INTELIGENCIJA U OFTALMOLOGIJI

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI  
SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Vladimir Šeba

TELEMEDICINA I UMJETNA INTELIGENCIJA U OFTALMOLOGIJI

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

Mentor rada: izv. prof. dr. sc. Tea Čaljkusić-Mance

Diplomski rad ocjenjen je dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u sastavu:

**1.** \_\_\_\_\_

**2.** \_\_\_\_\_

**3.** \_\_\_\_\_

Rad sadrži \_\_\_\_\_ stranica, \_\_\_\_\_ slika, \_\_\_\_\_ tablica, \_\_\_\_\_ literaturnih navoda.

## Contents

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Svrha rada</b> .....	2
<b>3. Rasprava</b> .....	3
<b>Teleoftalmologija</b> .....	3
<b>Teleoftalmologija u COVID-19 pandemiji</b> .....	4
<b>Dijabetička retinopatija</b> .....	8
<b>Retinopatija nedonoščadi</b> .....	9
<b>Senilna makularna degeneracija</b> .....	10
<b>Glaukom</b> .....	11
<b>Katarakta</b> .....	12
<b>Umjetna inteligencija</b> .....	13
<b>4. Zaključak</b> .....	16
<b>5. Sažetak</b> .....	18
<b>6. Summary</b> .....	19
<b>7. Literatura</b> .....	20
<b>8. Životopis</b> .....	23

## 1. Uvod

Sveprisutan problem u zdravstvu je prevelika potreba za uslugama koje zdravstveni sustav ne može zadovoljiti. Osim općeg manjka resursa i djelatnika, veliki problem predstavlja i njihova raspoređenost. Najrazvijeniji zdravstveni centri su smješteni u velikim gradovima, što znači da pacijenti koji žive u ruralnim krajevima moraju putovati daleko kako bi dobili adekvatnu zdravstvenu uslugu. Telemedicina predstavlja potencijalnu priliku da se taj problem umanjí tako da se udaljenim pacijentima pruži pristup vrhunskim zdravstvenim djelatnicima u velikim centrima. Druga prednost telemedicine je mogućnost redovnijih pregleda jer udaljenost i dostupnost djelatnika više ne predstavljaju toliko veliku prepreku.

Budući da se dijagnostika u oftalmologiji velikim dijelom zasniva na korištenju slika visoke rezolucije, razvoj telemedicine u ovom polju je kasnio za drugima zbog ograničenosti pohrane i prijenosa podataka, ali to više ne predstavlja problem. Telemedicina u oftalmologiji se primjenjuje sve češće zbog prednosti u svrhu probira, praćenja progresije bolesti ili pružanja bolje zdravstvene usluge pacijentima koji u suprotnom ne bi mogli putovati do specijalista. Drugim riječima, jedna od prednosti telemedicine je smanjenje vremenskog i financijskog troška za pacijente. Smatralo se da je ograničen pristup liječniku predstavljao problem samo za pacijente iz ruralnih krajeva, ali zbog nedostatka oftalmologa na broj stanovnika, čekanje na pregled je dugo, što je problem koji može olakšati telemedicina jer omogućuje bržu obradu pacijenata. Nakon COVID-19 pandemije je vidljiva još jedna prednost telemedicine – zaštita od zaraznih bolesti i zaštita imunokompromitiranih pacijenata. Nadalje, praćenje rizičnih pacijenata ili progresije bolesti je puno jeftinije i brže na daljinu. Telemedicina se koristi kako bi se smanjila prevalencija preventabilnih uzroka gubitka vida. Najpoznatija i najčešća primjena telemedicine je probir na dijabetičku retinopatiju.

Međutim, problemi u uvođenju telemedicine u oftalmologiju nisu zanemarivi. Prvi problem je uvođenje nove tehnologije i rada na daljinu, jer ovisi o suglasnosti pacijenta, liječnika i zdravstvenih ustanova. Pacijenti mogu imati poteškoća sa telemedicinom zbog nedostupnosti brzog interneta, uređaja ili tehnološke nepismenosti. Otežano rukovanje s tehnologijom je karakteristično za stariju populaciju, koja češće treba pregled oftalmologa u usporedbi sa svim drugim skupinama, što znači da telemedicina nije idealna opcija u tim slučajevima. Nedostatak uređaja preko kojeg bi se pacijent spojio sa liječnikom se može riješiti posuđivanjem uređaja ili organizacijom pregleda u lokalnoj ordinaciji. Nažalost, to predstavlja dodatan trošak i organizaciju. Neki liječnici smatraju da ne mogu jednako sigurno dijagnosticirati bolesti na daljinu kao što mogu u ordinaciji.(1)

## 2. Svrha rada

U ovom radu će se obrađivati telemedicina u okviru oftalmologije, kao i primjena umjetne inteligencije. Rad će sadržavati obradu prednosti i mana primjene tih tehnologija u oftalmologiji. Najčešće primjene će biti zasebno obrađene kako bi se utvrdila učinkovitost telemedicine u liječenju tih bolesti. Također će biti raspravljena učinkovitost telemedicinskog liječenja u vidu COVID-19 pandemije.

### 3. Rasprava

#### Teleoftalmologija

Oftalmologija kao specijalizacija se uvelike temelji na vizualnom tumačenju nalaza, slično patologiji ili radiologiji. Dijagnoza u oftalmologiji se često temelji na osnovi slikovnog nalaza, primjerice na slici fundusa oka. Razvoj modernih sustava pohrane i slanja slika omogućuje pregled pacijenta na jednom lokalitetu i gotovo trenutno prosljeđivanje nalaza specijalistu na drugom lokalitetu. Također specifična za oftalmologiju je činjenica da se pregled oka radi eksternim pomagalicama te se gotovo nikad ne radi pregled u kojem liječnik direktno pregledava pacijenta. Neki primjeri eksternih pomagala su direktni i indirektni oftalmoskop, biomikroskop i vidne tablice. (2)

Modaliteti teleoftalmologije su konzultacije videom, zvukom ili tekстом. Video konzultacije su najbliže pregledu uživo, i stoga imaju prednost u usporedbi s drugim modalitetima. Nedostatak video konzultacija je potreba za brzim internetom i web kamerama, što može predstavljati problem određenim pacijentima. Audio konzultacije nemaju tih ograničenja, ali zato nije moguća vizualna inspekcija pacijenta, zbog čega postoji veći rizik otežane komunikacije između pacijenta i liječnika, kao i otežane provjere identiteta pacijenta. Komunikacija tekстом je brza i svima dostupna, ali je nemoguće dijagnosticirati pacijenta i sva ograničenja audio komunikacije su ovdje još izraženija. Zbog tih ograničenja komunikaciju tekстом ili zvukom je preporučljivo koristiti u svrhu konzultacija, a ne dijagnostike i inicijalne obrade pacijenta. Komunikacija između pacijenta i liječnika može biti u realnom vremenu ili asinkrona. Primjer komunikacije u realnom vremenu je video ili audio komunikacija, dok je komunikacija tekстом oblik asinkrone komunikacije jer pacijent i liječnik nikada ne



komuniciraju istovremeno. Asinkrona komunikacija se često primjenjuje za dostavu dokumenata preko mreža ili e-maila.(3)

Zbog prirode oftalmologije, primjene telemedicine su opsežne. Telemedicina se koristi u liječenju dijabetičke retinopatije, retinopatije nedonoščadi, glaukoma, makularne degeneracije, te u hitnoćama i praćenju post-operativnih pacijenata. (1,3)

## Teleoftalmologija u COVID-19 pandemiji

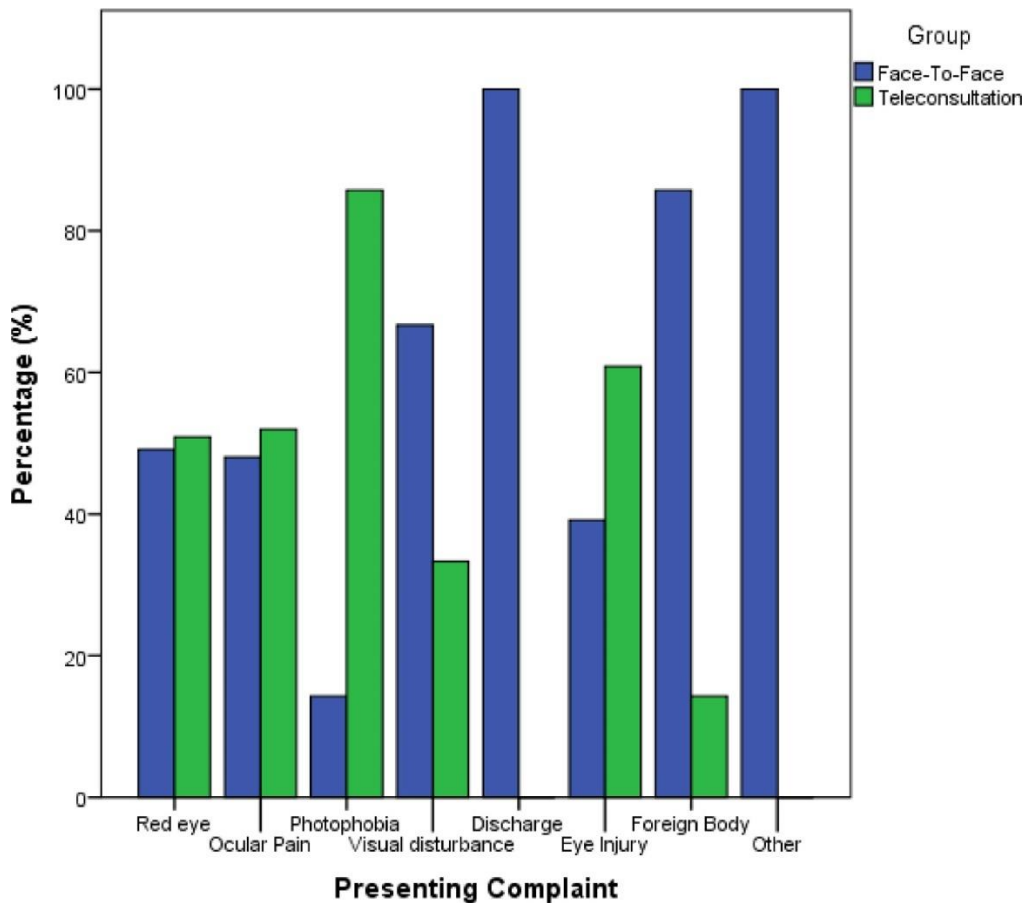
COVID-19 pandemija je znatno opteretila zdravstveni sustav zbog brzog širenja bolesti, ali i ograničenog kontakta između pacijenta i liječnika. Međutim, pandemija se pokazala kao odlična prilika za razvoj i procjenu učinkovitosti telemedicine.

Provedena je studija u trajanju od 23.03. do 19.04.2020. u kojoj je analizirano 7008 poziva. Od tih poziva, u 2805 (40.02%) poziva se radilo o kliničkom upitu. Najčešći upiti su bili vezani za crvenilo, bol, suzenje očiju ili mutni vid (31.52%) i uporabu lijekova (31.05%). 34.15% upita je bilo vezano za rožnicu, a 24.74% za mrežnicu. 16.08% pacijenata je bilo nižeg socioekonomskog statusa. Jedna četvrtina pacijenata su bili novi pacijenti (23.96%). Najčešći savjet pacijentima je bio vezan za uzimanje lijekova (54.15%), a nakon njega za dogovor dolaska u ordinaciju (17.79%). 16.36% hitnih upita su zahtijevali daljnju obradu oftalmologa. Konačni zaključak studije je bio da su se telemedicinske konzultacije pokazale učinkovitima u pravovremenom liječenju pacijenata u okviru karantene zbog COVID-19 pandemije. Također je istaknuta mogućnost praćenja liječenja pacijenata putem telekomunikacije.(3)

Važno je naglasiti naglu promjenu stava prema telemedicini kao posljedicu COVID-19 pandemije. Pacijenti i liječnici su bili otvoreniji prelasku na telekomunikaciju umjesto posjeta

uživo kako bi se izbjegla mogućnost susreta sa zaraženom osobom. Pacijenti su počeli sami tražiti telemedicinske konzultacije umjesto posjeta ordinaciji. Telemedicinske firme tvrde da 74% pacijenata nisu bili svjesni mogućnosti telemedicinskih pregleda prije početka pandemije. Američka telemedicinska firma GoodRx tvrdi da je broj telemedicinskih konzultacija porastao između 257% i 700% u 2020. u usporedbi sa 2019. godinom. Velika razlika između tih postotaka pripisuje različitoj zahvaćenosti država. (4) Ova statistika se odnosi na opću primjenu telemedicine, ali možemo sa sigurnošću pretpostaviti da je interes za teleoftalmologiju također porastao.

U studiji koja je provedena 2020. godine, pacijenti su birali između virtualnih konzultacija ili posjeta uživo. Pacijenti koji su izabrali virtualne konzultacije su u prosjeku bili mlađi od druge skupine (srednja dob 43 godine u usporedbi sa 49). Muškarci su bili skloniji posjetama uživo u usporedbi sa ženama (55% naspram 46%). Obe skupine su imale jednaku stopu uspješnosti liječenja te je 97% pacijenata koji su pripadali telemedicinskoj grupi bilo zadovoljno sa tretmanom, a od tih pacijenata, 55% tvrdi da bi radije koristili telekonzultacije umjesto posjete uživo.(5)

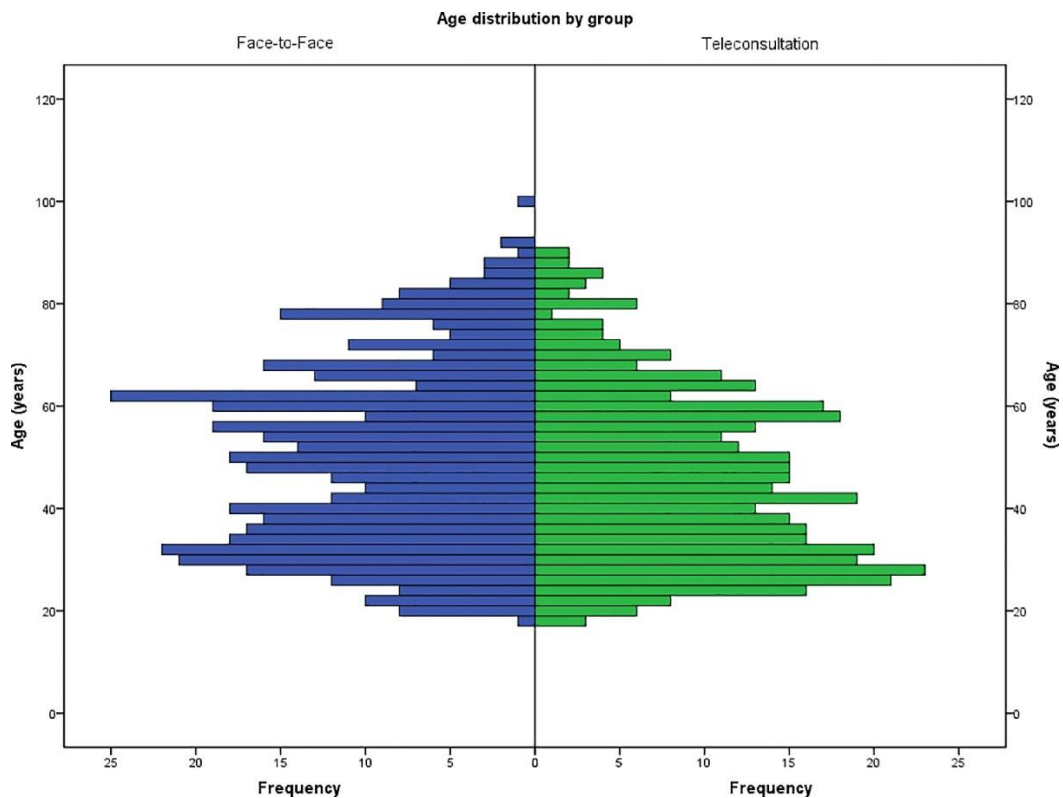


Slika 1: usporedba postotka pacijenata koji su izabrali videokonzultacije u usporedbi sa posjetama uživo ovisno o simptomima (5)

Priložena slika pokazuje da su pacijenti sa težim simptomima bili skloniji pregledu uživo. 86% pacijenata sa fotofobijom i 52% sa boli u oku su izabrali videokonzultacije, za razliku od pacijenata sa vidnim smetnjama ili stranim tijelom, koji su izabrali pregled uživo u 67% i 86% slučajeva.(5)

Na kontrolnom pregledu mjesec dana nakon videokonzultacija nisu nađeni nikakvi simptomi koji su mogli nastati kao posljedica telemedicinskog liječenja. Međutim, još uvijek se smatra da postoji veći rizik oštećenja pacijenta telemedicinskim liječenjem. Jedan od primjera koji studije navode su detalji koji mogu promaknuti tijekom videokonzultacije, primjerice blaga asimetrija lica ili zjenica ukoliko je narušena kvaliteta videa zbog spore veze ili loše kamere.

Prema francuskoj studiji iz 2020., zbog ovih čimbenika može doći do 1% krivih dijagnoza, zbog čega pacijenti tek kasnije dobiju zadovoljavajuće liječenje. Imajući to na umu, zaključak stručnjaka je bio da telemedicina svejedno pruža zadovoljavajući standard zdravstvene usluge.(6)



Slika 2: raspodjela pacijenata po modalitetu liječenja ovisno o dobi(5)

Iako je originalna svrha teleoftalmologije povezati najizoliranije i najugroženije pacijente sa specijalistima, prema grafu na slici 2 vidimo da korištenje virtualnih posjeta opada sa većom životnom dobi. Drugim riječima, skupine koje bi trebale najviše dobiti od teleoftalmologije odlučuju koristiti preglede uživo. Mogući uzroci za ovu paradoksalnu raspodjelu su digitalna pismenost i dostupnost adekvatne tehnologije i internetske veze. Međutim, ovo ne možemo uzeti kao konačni dokaz o preferencijama po dobnim skupinama, jer nisu svi ispitanici u istraživanju bili svjesni mogućnosti drugih modaliteta liječenja. U interesu pacijenata i liječnika je educirati stariju populaciju o mogućnostima teleoftalmologije jer oni predstavljaju

najzastupljeniju dobnu skupinu pacijenata unutar oftalmologije. Drugi važan zaključak iz ovih podataka je potreba za paralelnom primjenom tradicionalne oftalmologije i teleoftalmologije, jer su tako pokrivena sve dobne skupine pacijenata.(5)

## Dijabetička retinopatija

Dijabetes je jedan od vodećih uzroka sljepoće, usprkos uspješnosti liječenja u smanjenju rizika od gubitka vida. Dvadeset godina nakon početka simptoma dijabetesa, 90% pacijenata s dijabetesom tipa 1 i preko 60% pacijenata s dijabetesom tipa 2 će razviti dijabetičku retinopatiju.(7) Stoga je jedna od najraširenijih primjena telemedicine je probir na dijabetičku retinopatiju. Telemedicinski probir populacije dijabetičara se pokazao učinkovitim načinom ranog otkrivanja rizičnih pacijenata, nakon čega su mogli biti poslani specijalistu oftalmologije na pregled u ordinaciji. Rano otkrivanje dijabetičke retinopatije omogućuje i rani početak liječenja, koji ima puno veću uspješnost od liječenja nakon nastanka simptoma.(1,8)

Kako bi se povećao broj dijabetičara koji prođu skrining, određene ordinacije su uvele programe za probir dijabetičke retinopatije u sklopu redovnih pregleda obiteljske medicine. Ideja tih programa je umanjiti što više prepreka između pacijenta i liječnika kako bi se povećala suradljivost. Ukoliko bi nalaz upućivao na potrebu za daljnjim pregledom kod oftalmologa, liječnik obiteljske medicine bi odmah mogao uputiti pacijenta. Drugi razlog za uspješnost programa probira dijabetičke retinopatije je jednostavnost primjene. Slikanje fundusa oka je relativno jeftina, jednostavna procedura.(1)

U retrospektivnom istraživanju koje se sastojalo od 1776 pacijenata, fotografije fundusa je pregledao specijalist, nakon čega se njegova dijagnoza uspoređivala sa dijagnozom specijalista

koji je obavio pregled uživo. Istraživanje je pokazalo veliku uspješnost u dijagnosticiranju dijabetičke retinopatije, ali nešto manju u detekciji dijabetičkog makularnog edema.(9)

Jedna od prednosti telemedicine koja se stalno naglašava je ušteda za pacijente, ali i za bolničke centre. Istraživanje u Brazilu je proučavalo ekonomsku isplativost teleoftalmologije. Istraživanje je obuhvaćalo više od 1330 pacijenata. Analiza se odnosila na ranu dijagnozu dijabetičke retinopatije preko fotografija fundusa. Zaključak istraživanja je bio da ušteda po pacijentu gotovo 29 dolara.(10)

Talijansko istraživanje u trajanju od deset godina je pokušalo dokazati učinkovitost telemedicinskog probira na dijabetičku retinopatiju. U istraživanju su također pokušali odrediti koliko često se treba provoditi probir kako bi se rasteretio medicinski sustav. Njihovi rezultati upućuju da je za pacijente niskog rizika (dijabetes koji traje kraće od 10 godina) optimalni vremenski raspon probira 2.5 godine. Ukoliko su prisutni čimbenici rizika, pregledi se mogu raditi češće, pa čak i godišnje. Zaključak istraživanja je bio da je teleoftalmološki probir na dijabetičku retinopatiju jeftina i učinkovita metoda ranog liječenja bolesti.(11)

Zbog velike učinkovitosti ovog telemedicinskog načina liječenja dijabetičke retinopatije, ali i relativno neistražene prirode ovog modaliteta liječenja, skupina stručnjaka za primjenu telemedicine u oftalmologiji je sastavila opsežne smjernice za implementaciju i primjenu ove tehnologije u praksi.(12)

## **Retinopatija nedonoščadi**

Slično dijabetičkoj retinopatiji, telemedicina se može primijeniti u probiru na prematurnu retinopatiju. Retinopatija nedonoščadi je opasan poremećaj krvnih žila retine koji može dovesti

do oštećenja ili potpunog gubitka vida. Srećom, ovaj poremećaj je moguće liječiti laserskom fotokoagulacijom retine ili intravitrealnim anti-VEGF injekcijama ukoliko je na vrijeme dijagnosticiran. U idealnim okolnostima, pregled bi radio pedijatrijski oftalmolog ili oftalmolog, uži specijalist stražnjeg segmenta oka, a zbog njihovog nedostatka je nastala potreba za telemedicinskim pregledima.(1)

Istraživanje provedeno na 350 novorođenčadi je pokazalo učinkovitost telemedicine u otkrivanju retinopatije, ali i drugih poremećaja poput krvarenja, kongenitalne katarakte i hipoplazije nervusa opticus.(13)

S druge strane, Istraživanje u Mađarskoj iz 2019. godine je također istraživalo mogućnost primjene telemedicine u probiru na retinopatiju nedonoščadi. Otkrili su da je telemedicinski probir 86% osjetljiv i 99% specifičan u svim slučajevima retinopatije nedonoščadi, a 100% osjetljiv i 100% specifičan u slučajevima retinopatije koje zahtijevaju liječenje. Njihov zaključak je da je telemedicinski probir koristan, ali da za sada tehnologija nije dovoljno razvijena da zamijeni pregled uživo.(14)

## Senilna makularna degeneracija

Senilna makularna degeneracija je atrofija makula koja uzrokuje pogoršanje središnjeg vida u starijih bolesnika. Telemedicinski probir na senilnu makularnu degeneraciju se ne može sastojati samo od proširenih parametara za probir dijabetičke retinopatije. Uspješan probir zahtjeva primjenu dodatnih metoda fotografiranja poput optičke koherentne tomografije (OCT) ili OCT angiografije.(15)

U svrhu unaprjeđenja probira na senilnu makularnu degeneraciju, tim znanstvenika iz Kine je razvila model umjetne inteligencije koji može čitati OCT slike i sa velikom sigurnošću prepoznati makularnu degeneraciju. Namjena njihovog programa je dostupnost besplatnog probira na senilnu makularnu degeneraciju bolesnicima i liječnicima. Bez obzira na uspješnost programa u otkrivanju bolesti, konačnu odluku o liječenju i potvrđivanju dijagnoze bi trebao donijeti specijalist oftalmologije. Iz tog razloga je preporučena uporaba programa od strane liječnika obiteljske medicine u svrhu procjene za potrebom slanja pacijenta na specijalistički pregled. Bolesnici također mogu koristiti program u svrhu uvida u vlastito stanje.(16)

## Glaukom

Glaukom je oštećenje vidnog živca koje nastaje kao posljedica povećanog očnog tlaka te predstavlja jedan od vodećih uzroka sljepoće u svijetu. Glaukom najviše zahvaća stariju populaciju. Tijek bolesti je dugo vremena asimptomatski, što znači da se prvi put otkriva na probiru. Glavne metode probira na glaukom su mjerenje očnog tlaka, promjene na vidnom živcu i ispadi vidnog polja. Sve navedene metode su pogodne za telemedicinski pristup zbog lake primjene, a zatim pohrane i prosljeđivanja specijalistu.(1)

Istraživanja su pokazala da je telemedicinski način probira na glaukom siguran i učinkovit način za otkrivanje glaukoma. Meta-analiza programa probira na glaukom je dokazala da telemedicinski pristup ima visoku osjetljivost na otkrivanje bolesti. Međutim, u usporedbi sa pregledom uživo, telemedicinski pristup ima nižu osjetljivost, ali višu specifičnost.(17)



Način telemedicinskog probira je opisan u smjernicama, a obuhvaća mjerenje oštine vide, širinu vidnog polja, intraokularni tlak, pahimetriju, gonioskopiju i fundoskopiju. Nalazi ovih pregleda se pohranjuju i šalju specijalistu na uvid. (18)

Drugi dio liječenja glaukoma obuhvaća telemedicinske konzultacije. U Kanadi se primjenjuje model gdje liječnici šalju nalaze specijalistima za glaukom, koji potom interpretiraju podatke i pošalju odgovor sa preporukama daljnjih postupaka. Ovaj pristup omogućuje širok spektar mogućnosti programa liječenja, uključujući telekonzultacije ili pregled uživo kod specijalista. Prednost ovog programa je što cijela procedura traje samo oko 10 dana.(1)

Dugoročno praćenje glaukoma se odvija po istom principu. Dokazana je razlika između telemedicinskih nalaza i nalaza nastalih od pregleda uživo. U 3.4% slučajeva je postojala razlika u procjeni progresije bolesti, a radilo se o greški u telemedicinskom pregledu gdje se pacijent nije poslao na daljnju obradu, a u 2% slučajeva se radilo i krivoj klasifikaciji glaukoma. Smatra se da je broj krivih dijagnoza dovoljno nizak, a zajedno sa sporom progresijom bolesti i redovnim pregledima pacijenata ukazuje da je dugoročno telemedicinsko praćenje glaukoma sigurno.(19)

## Katarakta

Katarakta je prirođeno ili degenerativno zamućenje leće koje obilježava postupno i bezbolno zamućenje vida, a smatra se reverzibilnim uzrokom gubitka vida. Najčešći način dijagnosticiranja katarakti je pomoću slikanja kroz proširenu zjenicu. Katarakta se vidi kao tamno područje unutar crvenog odraza. Procjepna svjetiljka omogućuje otkrivanje više podataka o smještaju i proširenju zamućenja.(1)

Standardna praksa u telemedicinskoj dijagnostici katarakti je slična kao i u drugim prethodno opisanim bolestima. Proceduru započinje tehničar na udaljenoj lokaciji koji slika oko i pohranjuje slike. Zatim se slike šalju oftalmologu koji nastoji u što kraćem vremenu pregledati slike, potvrditi dijagnozu i poslati odgovor nazad tehničaru ili virtualno pričati sa pacijentom. Istraživanjem je dokazano da ovaj način slikanja ima usporedivu uspješnost pregleda procjepnom svjetiljkom uživo.(20)

2020. godine uspoređena je kvaliteta slika napravljenih sa pametnim mobitelom uz poseban nastavak sa slikama iz oftalmoskopa. U istraživanju su pacijenti prvo pregledani oftalmoskopom, a zatim sa mobitelom s nastavkom za kameru. Slike su poslane oftalmolozima na drugoj lokaciji za procjenu. Dokazano je značajno podudaranje za dijagnozu katarakta i indikacije za operaciju katarakta. Ograničenje ovog istraživanja je što slike s mobitela nisu uspoređene sa procjepnom svjetiljkom, koja je zlatni standard za dijagnostiku katarakta.(21)

## Umjetna inteligencija

Budućnost telemedicine se nalazi u primjeni umjetne inteligencije. Umjetna inteligencija je sposobnost računala da obavlja zadatke koje inače radi čovjek. Umjetna inteligencija nije dovoljno razvijena da u potpunosti preuzme posao liječnika, ali može pomoći u specifičnim zadacima. Teleoftalmologija je posebno pogodna specijalizacija za primjenu umjetne inteligencije zbog činjenice da se većina dijagnostike može raditi slikama. Specifična grana umjetne inteligencije koja se primjenjuje u teleoftalmologiji je strojno učenje. Strojno učenje predstavlja algoritme koji sami sebe dorađuju učenjem kroz pokušaje rješavanja nekog zadatka.(1)

Jedna od primjena strojnog učenja u oftalmologiji je na analizu slika fundusa. Analiza slika fundusa uz pomoć umjetne inteligencije se primjenjuje u dijagnostici dijabetičke retinopatije(22), retinopatije novorođenčadi(23), senilne makularne degeneracije(24). Samo jedan od primjera učinkovitosti umjetne inteligencije je dokazana 90.3% osjetljivost i 98.1% specifičnost za otkrivanje dijabetičke retinopatije. Za glaukom i senilnu makularnu degeneraciju su dokazane osjetljivost i specifičnost od 90.5% i 91.6%, odnosno 96.4% i 87.2%. Ovako dobri rezultati istraživanja djeluju obećavajuće za budućnost primjene umjetne inteligencije u oftalmologiji, međutim, potrebna su istraživanja o stvarnoj primjeni ovih programa, jer su prethodno navedena istraživanja imala puno kontroliranije uvjete.(1)

Na sreću, stvarna primjena umjetne inteligencije se pokazala veoma uspješnom, usprkos otežavajućih čimbenika poput različitih kvaliteta slika ovisno o ordinaciji. Bliska budućnost liječenja uz pomoć umjetne inteligencije leži u hibridnom pristupu gdje liječnik surađuje s umjetnom inteligencijom u svrhu brže i kvalitetnije procjene. Umjetna inteligencija se treba koristiti kao alat, a konačna odluka i odgovornost pada na liječnika. Istraživanje iz 2019. godine je otkrilo da hibridni pristup daje najtočnije dijagnoze, ali je sporiji od tradicionalnog pristupa. U istraživanju su napomenuli da se radi o novom pristupu liječenja i da misle da će se proces ubrzati kako se liječnici upoznaju s tehnologijom.(25)

Još jedna primjena umjetne inteligencije je analiziranje slika optičke koherentne tomografije (OCT). OCT slike su uspješno iskorištene za dijagnostiku senilne makularne degeneracije sa osjetljivosti od 92.6% i specifičnosti 93.7%. OCT slike se također mogu iskoristiti za dijagnosticiranje glaukoma. Još 2017. godine je dokazano da se pomoću OCT slika mogu postići točnije dijagnoze u odnosu na standardan pregled kod oftalmologa.(26)

Sve navedene primjene umjetne inteligencije su primjene na zadacima koji su standardni u oftalmološkoj praksi. Umjetna inteligencija je također pokazala mogućnost otkrivanja bolesti i podataka o pacijentu za koje se prethodno nije znalo da je moguće. Jedan primjer ovakvog otkrića je mogućnost otkrivanja kardiovaskularnog rizika i spola pacijenta iz slika fundusa.(27) Još jedna neočekivana prednost umjetne inteligencije je mogućnost predviđanja tijeka bolesti. Umjetna inteligencija je točno predvidjela progresiju dijabetičke retinopatije i senilne makularne degeneracije koristeći slike fundusa, odnosno OCT slike. Umjetna inteligencija je uspjela nadmašiti pet od šest stručnjaka u istraživanju.(28)

Iz ovih primjera možemo zaključiti da je potencijal primjene umjetne inteligencije u telemedicini nemoguće predvidjeti. Strojno učenje najbolje funkcionira što ima veći spektar točno izmjerenih podataka, jer algoritam može primijetiti povezanost nekih parametara koji su liječniku naizgled nepovezani.(1)

## 4. Zaključak

Kao posljedica COVID-19 pandemije, ubrzan je razvitak telemedicine u oftalmologiji. Također ubrzano je prihvaćanje ovog novog načina liječenja od strane pacijenata i liječnika. Međutim, telemedicina nije još u potpunosti usvojena, pogotovo među starijim pacijentima i liječnicima. Ovo može biti posljedica skeptičnosti prema novoj tehnologiji, digitalnoj nepismenosti ili nedostupnosti adekvatne tehnologije (kamere, pametni uređaji i dovoljno brza internetska veza). Paradoksalno, demografija pacijenata kojima je telemedicina trebala najviše pomoći su najmanje zastupljeni jer radije biraju preglede uživo. Ovo u jednu ruku predstavlja problem jer je najviše pacijenata u oftalmologiji starije dobi, ali u drugu ruku ostali pacijenti koji koriste telemedicinsko liječenje rasterećuju sustav, tako da svejedno postoji pozitivan učinak. Dakle, sadašnjost i bliska budućnost teleoftalmologije leži u hibridnom pristupu koji objedinjuje klasičnu oftalmologiju sa teleoftalmologijom kako bi se zadovoljile potrebe svih demografija pacijenata.

Teleoftalmološka dijagnostika bolesti poput retinopatija, glaukoma, katarakta i makularne degeneracije su dokazano učinkovite i već se primjenjuju u praksi u određenim zemljama. Daljnja primjena ovih inovativnih metoda liječenja će pružiti korisne podatke istraživačima koji će potom usavršiti smjernice liječenja i algoritme umjetne inteligencije, čime će se dodatno optimizirati brzina i uspješnost istih.

Naposlijetku, važno je istaknuti potencijal umjetne inteligencije u dijagnostici i liječenju pacijenata. Dokazano je da može specifične bolesti dijagnosticirati usporedivo sa specijalistima oftalmologije, ali najsigurniji način rada je hibridni način u kojem liječnik koristi umjetnu inteligenciju kao alat. Umjetna inteligencija je tehnologija u razvoju, i kao takva je podložna

greškama koje ne možemo predvidjeti, ali u suradnji sa liječnikom je uspješnost dijagnostike i liječenja veća nego u zasebnom radu.

Tijekom razvoja umjetne inteligencije u svrhu liječenja, otkrivene su nove primjene koje nismo mogli predvidjeti, poput otkrivanja kardiovaskularnog rizika pacijenta samo putem slike fundusa oka. Postoji velika mogućnost da će u procesu usavršavanja ovih tehnologija biti otkrivene nove inovativne metode dijagnostike, liječenja i predviđanja raznih poremećaja.

## 5. Sažetak

Telemedicina je relativno nova grana moderne medicine koja predstavlja mogućnost povezivanja najudaljenijih i najugroženijih pacijenata sa vodećim specijalistima u velikim medicinskim centrima. Prednosti telemedicine su doseg, niža cijena i brzina rada. Oftalmologija je posebno pogodna za telemedicinski pristup zbog prirode dijagnosticiranja u ovoj specijalizaciji, koja se većinski zasniva na slikama i vanjskom pregled.

COVID-19 pandemija je potaknula ubrzani razvoj i prihvaćanje novih tehnologija i telemedicinskog načina liječenja. Međutim, telemedicina nije u potpunosti prihvaćena, ponajviše među starijim pacijentima. Stoga je idealni pristup liječenja kombinirani pristup gdje se koriste klasični i telemedicinski pregledi, ovisno o željama i mogućnostima pacijenata.

Primjena telemedicine u oftalmologiji je već prihvaćena u standardnoj praksi u određenim državama i najčešće se koristi u svrhu probira na dijabetičku retinopatiju, senilnu makularnu degeneraciju, retinopatiju nedonoščadi, katarakte i glaukom. Ovi programi su dokazano jednako učinkoviti kao pregledi uživo i stoga se sve češće primjenjuju. Osim za probir, teleoftalmologija se može koristiti za dijagnostiku, praćenje pacijenta, konzultacije s pacijentom te procjenu progresije bolesti.

Primjena umjetne inteligencije je relativno nova pojava unutar teleoftalmologije, ali pokazuje obećavajuće rezultate. Umjetna inteligencija uspješno radi specifične zadatke usporedivo sa specijalistima oftalmologije, ali najuspješniji je hibridni pristup gdje surađuju liječnik i umjetna inteligencija. Nadalje, umjetna inteligencija ima potencijal raditi stvari koje liječnik ne može, primjerice procjenu kardiovaskularnog rizika preko slike fundusa.

## 6. Summary

Telemedicine is a relatively new branch of modern medicine which represents the opportunity to connect the most secluded and high-risk patients with leading specialists in large medical centers. The advantages of telemedicine are reach, low cost and fast workflow. Ophthalmology is especially suited to a telemedical approach because of the nature of diagnostics in this branch of medicine, which mostly relies on images and external observation.

The COVID-19 pandemic has kickstarted and accelerated the development and adoption of new technologies relating to telemedicine. However, telemedicine isn't widely accepted, mostly among older patients. Because of this, a combined approach using traditional and telemedical methods is ideal, depending on the wishes and circumstances of the patient.

Application of telemedicine in ophthalmology has already been accepted and put into standard practice in select countries, and is most commonly used for screening for diabetic retinopathy, age related macular degeneration, retinopathy of prematurity, cataracts and glaucoma. These programs have been proven to be just as effective as in-person examinations, and as such are used more and more. Apart from screening, teleophthalmology can be used for diagnostics, follow-up exams, consultations, and illness progression assessment.

Artificial intelligence application is a relatively new phenomenon within teleophthalmology, but it is showing promising results. Artificial intelligence can successfully perform specific tasks comparatively well to ophthalmology specialists, however, a hybrid approach consisting of a specialist and artificial intelligence cooperating has proven to be the most successful. Furthermore, artificial intelligence has the potential to do things doctors cannot, such as cardiovascular risk assessment using only fundus images.



## 7. Literatura

1. Morris R, Joseph A, Selvin G, Y. Lee A, J. Weiss S, S. Hunt M. Ocular Telehealth [Internet]. April Maa, editor. Elsevier; 2022 [cited 2022 Jun 7]. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/browse/book/3-s2.0-C20200027994>
2. Fong D, Seddon J, Li HK. PUBLIC HEALTH AND THE EYE Telemedicine and Ophthalmology [Internet]. Vol. 44, EDITORS SURVEY OF OPHTHALMOLOGY. 1999 [cited 2022 Jun 8]. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039625799000594?fbclid=IwAR1QvhhkKX0HgEdn71nZsyarUQ1wx44po9pe77uR0Dvl1X2Zt93L7D1WLjHM>
3. Sharma M, Jain N, Ranganathan S, Sharma N, Honavar S, Sharma N, et al. Tele-ophthalmology: Need of the hour [Internet]. Vol. 68, Indian Journal of Ophthalmology. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2020 [cited 2022 Jun 8]. p. 1328–38. Dostupno na: [https://journals.lww.com/ijo/Fulltext/2020/68070/Tele\\_ophthalmology\\_\\_Need\\_of\\_the\\_hour.21.aspx](https://journals.lww.com/ijo/Fulltext/2020/68070/Tele_ophthalmology__Need_of_the_hour.21.aspx)
4. Saleem SM, Pasquale LR, Sidoti PA, Tsai JC. Virtual Ophthalmology: Telemedicine in a COVID-19 Era. American Journal of Ophthalmology [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2022 Jun 9];216:237–42. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002939420302142#bib5>
5. Li JPO, Thomas AAP, Kilduff CLS, Logeswaran A, Ramessur R, Jaselsky A, et al. Safety of video-based telemedicine compared to in-person triage in emergency ophthalmology during COVID-19. EClinicalMedicine [Internet]. 2021 Apr 1 [cited 2022 Jun 9];34. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/journal/1-s2.0-S2589537021000985?scrollTo=%23hi0000371>
6. Bourdon H, Jaillant R, Ballino A, el Kaim P, Debillon L, Bodin S, et al. Teleconsultation in primary ophthalmic emergencies during the COVID-19 lockdown in Paris: Experience with 500 patients in March and April 2020. Journal Francais d'Ophtalmologie [Internet]. 2020 Sep 1 [cited 2022 Jun 9];43(7):577–85. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0181551220302497?via%3Dihub>
7. Lawrence MG. THE ACCURACY OF DIGITAL-VIDEO RETINAL IMAGING TO SCREEN FOR DIABETIC RETINOPATHY: AN ANALYSIS OF TWO DIGITAL-VIDEO RETINAL IMAGING SYSTEMS USING STANDARD STEREOSCOPIC SEVEN-FIELD PHOTOGRAPHY AND DILATED CLINICAL EXAMINATION AS REFERENCE STANDARDS [Internet]. Vol. 102, Trans Am Ophthalmol Soc. 2004 [cited 2022 Jun 10]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1280108/>
8. Morse AR. Telemedicine in ophthalmology: Promise and pitfalls [Internet]. Vol. 121, Ophthalmology. Elsevier Inc.; 2014 [cited 2022 Jun 10]. p. 809–11. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/journal/1-s2.0-S0161642013010117>
9. Date RC, Shen KL, Shah BM, Sigalos-Rivera MA, Chu YI, Weng CY. Accuracy of Detection and Grading of Diabetic Retinopathy and Diabetic Macular Edema Using Teleretinal Screening. Ophthalmology Retina [Internet]. 2019 Apr 1 [cited 2022 Jun 10];3(4):343–9. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468653018306535?via%3Dihub>

10. Souza GF de, Figueira RM, Alkmim MB, Sousa LAP de, Bonisson L, Ribeiro ALP, et al. Teleophthalmology Screening for Diabetic Retinopathy in Brazil: Applicability and Economic Assessment. *Telemedicine and e-Health* [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2022 Jun 11];26(3):341–6. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30994411/>
11. Vujosevic S, Pucci P, Casciano M, Daniele AR, Bini S, Berton M, et al. A decade-long telemedicine screening program for diabetic retinopathy in the north-east of Italy. *Journal of Diabetes and its Complications* [Internet]. 2017 Aug 1 [cited 2022 Jun 11];31(8):1348–53. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1056872717300697>
12. Horton MB, Brady CJ, Cavallerano J, Abramoff M, Barker G, Chiang MF, et al. Practice Guidelines for Ocular Telehealth-Diabetic Retinopathy, Third Edition. *Telemed J E Health* [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2022 Jun 11];26(4):495–543. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7187969/>
13. Simkin SK, Misra SL, Battin M, McGhee CNJ, Dai S. Prospective observational study of universal newborn eye screening in a hospital and community setting in New Zealand. *BMJ Paediatrics Open* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2022 Jun 12];3(1). Dostupno na: <https://bmjpaedsopen.bmj.com/content/3/1/bmjpo-2018-000376>
14. Maka E, Kovács G, Imre L, Gilbert C, Szabó M, Németh J, et al. The validity of telemedicine-based screening for retinopathy of prematurity in the Premature Eye Rescue Program in Hungary. *Journal of Telemedicine and Telecare* [Internet]. 2021 Jul 1 [cited 2022 Jun 12];27(6):367–75. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31645172/>
15. Brady CJ, Garg S. Telemedicine for Age-Related Macular Degeneration. *Telemedicine and e-Health* [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2022 Jun 14];26(4):565–8. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7187971/>
16. Hwang DK, Hsu CC, Chang KJ, Chao D, Sun CH, Jheng YC, et al. Artificial intelligence-based decision-making for age-related macular degeneration. *Theranostics* [Internet]. 2019 [cited 2022 Jun 14];9(1):232–45. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30662564/>
17. Hark LA, Katz LJ, Myers JS, Waisbourd M, Johnson D, Pizzi LT, et al. Philadelphia Telemedicine Glaucoma Detection and Follow-up Study: Methods and Screening Results. *American Journal of Ophthalmology* [Internet]. 2017 Sep 1 [cited 2022 Jun 14];181:114–24. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28673747/>
18. Gan K, Liu Y, Stagg B, Rathi S, Pasquale LR, Damji K. Telemedicine for Glaucoma: Guidelines and Recommendations. *Telemedicine and e-Health* [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2022 Jun 14];26(4):551–4. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7187965/>
19. Clarke J, Puertas R, Kotecha A, Foster PJ, Barton K. Virtual clinics in glaucoma care: Face-to-face versus remote decision-making. *British Journal of Ophthalmology* [Internet]. 2017 Jul 1 [cited 2022 Jun 14];101(7):892–5. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27729310/>
20. Maa AY, Medert CM, Lu X, Janjua R, Howell A v., Hunt KJ, et al. Diagnostic Accuracy of Technology-based Eye Care Services: The Technology-based Eye Care Services Compare Trial Part I. *Ophthalmology* [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2022 Jun 15];127(1):38–44. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31522900/>
21. Collon S, Chang D, Tabin G, Hong K, Myung D, Thapa S. Utility and Feasibility of Teleophthalmology Using a Smartphone-Based Ophthalmic Camera in Screening Camps in

- Nepal. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology* [Internet]. 2020 Feb 1 [cited 2022 Jun 14];9(1):54–8. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31990747/>
22. Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA - Journal of the American Medical Association* [Internet]. 2016 Dec 13 [cited 2022 Jun 15];316(22):2402–10. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27898976/>
  23. Brown JM, Campbell JP, Beers A, Chang K, Ostmo S, Chan RVP, et al. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks. In: *JAMA Ophthalmology* [Internet]. American Medical Association; 2018 [cited 2022 Jun 15]. p. 803–10. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29801159/>
  24. Burlina PM, Joshi N, Pekala M, Pacheco KD, Freund DE, Bressler NM. Automated grading of age-related macular degeneration from color fundus images using deep convolutional neural networks. *JAMA Ophthalmology* [Internet]. 2017 Nov 1 [cited 2022 Jun 15];135(11):1170–6. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28973096/>
  25. Sayres R, Taly A, Rahimy E, Blumer K, Coz D, Hammel N, et al. Using a Deep Learning Algorithm and Integrated Gradients Explanation to Assist Grading for Diabetic Retinopathy. *Ophthalmology* [Internet]. 2019 Apr 1 [cited 2022 Jun 15];126(4):552–64. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30553900/>
  26. Muhammad H, Fuchs TJ, de Cuir N, de Moraes CG, Blumberg DM, Liebmann JM, et al. Hybrid Deep Learning on Single Wide-field Optical Coherence tomography Scans Accurately Classifies Glaucoma Suspects. *Journal of Glaucoma* [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2022 Jun 15];26(12):1086–94. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5716847/>
  27. Poplin R, Varadarajan A v., Blumer K, Liu Y, McConnell M v., Corrado GS, et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nature Biomedical Engineering* [Internet]. 2018 Mar 1 [cited 2022 Jun 15];2(3):158–64. Dostupno na: <https://www.nature.com/articles/s41551-018-0195-0>
  28. Yim J, Chopra R, Spitz T, Winkens J, Obika A, Kelly C, et al. Predicting conversion to wet age-related macular degeneration using deep learning. *Nature Medicine* [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2022 Jun 15];26(6):892–9. Dostupno na: <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0867-7>

## 8. Životopis

Vladimir Šeba rođen je 05.04.1997. u Zagrebu. Pohađao je Osnovnu školu Vladimir Nazor u Daruvaru, koju je završio sa odličnim uspjehom. U istom razdoblju je pohađao Glazbenu školu Bruno Bjelinski, gdje je naučio svirati gitaru. U sklopu glazbene škole je sudjelovao i u kulturno-umjetničkom društvu „Lahor“, gdje je svirao tamburicu. Za vrijeme pohađanja osnovne škole, bio je član karate kluba „Slavko Krivski“ i nogometnog kluba Daruvar.

Nakon toga je pohađao Gimnaziju Daruvar koju je završio s odličnim uspjehom. U gimnaziji se istaknuo u poznavanju engleskog jezika na natjecanjima.

Upisao je Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci 2016. godine. Odradio je ljetnu praksu fizikalne i sportske medicine u specijalnoj bolnici za medicinsku rehabilitaciju Daruvarske toplice. Fakultet završava sa vrlo dobrim uspjehom. U Rijeci se iste godine počeo baviti gimnastikom i parkourom u sklopu kluba Ri-run.