

EPR in zapolnil vse preostale vrzeli. Da je na primer zagotovil neodvisnost nastavitve polarizatorjev, je za signal izrabil slučajno detekcijo fotonov svetlobe zvezd, ki se je gotovo izsevala daleč pred poskusom. Povečal je tudi razdaljo med merilnimi mesti. Prvi merilnik je bil na Tenerifeju, drugi pa na sto štiriinštirideset kilometrov oddaljeni La Palmi.

Prepletena stanja lahko služijo tudi pri varnem prenosu ključev za kodiranje. V poskusu EPR naj imata A in B izvor prepletenih parov fotonov. Pri različnih kotih merita polarizacijo. Na koncu si po običajni zvezi sporočita položaje polarizatorjev ob določenem času. Uporabita tiste rezultate, pri katerih sta imela enake položaje polarizatorjev in so zaradi prepletenosti nasprotni. Dobljeno slučajno zaporedje uporabita kot kodirni ključ. Če preverita Bellovo neenačbo, lahko tudi ugotovita, ali je kdo skušal prisluškovati. To bi namreč uničilo kvantno preple-

tenost in zmanjšalo korelacije pod klasično mejo. Velja pripomniti, da na tak način ni mogoče prenašati sporočil, saj je rezultat posamezne meritve povsem случаjen.

Clauserjevi, Aspectovi in Zeilingerjevi poskusi s prepletenimi stanji so tako najprej pokazali, da so napovedi kvantne fizike tudi tedaj, kadar se zdijo v nasprotju s klasičnimi predstavami in intuicijo, pravilne. Lokalna teorija skritih spremenljivk, ki naj bi dala določene napovedi za izide meritev, ne le verjetnosti, ni možna. Kvantna fizika je nelokalna, napove v splošnem le verjetnosti za izide poskusov in ne dovoljuje hkratne meritve parov nekaterih količin, na primer položaja in hitrosti. Prepletena stanja, v katerih so lahko tudi oddaljeni deli sistema med seboj povezani, so pomembna značilnost kvantne fizike. So eden bistvenih elementov v kvantnem računalništvu, kodiranju in prenosu informacij.

Ali je ChatGPT bolj empatičen kot zdravnik? • Medicina in umetna inteligenca

Ali je ChatGPT bolj empatičen kot zdravnik?

Amadej Šenk

V digitalni dobi, ko je dostop do informacij le nekaj klikov stran, pacienti vse pogostejše iščejo na spletu zdravstvene nasvete ter informacije o simptomih, diagnozah in zdravljenju. V zadnjih nekaj letih, še bolj natančno v zadnjem letu, je prišlo do burnega razvoja umetne inteligence. Napredek v razvoju je posegel tudi v osrčje zdravstva in medicine, kjer se je postopoma začel uveljavljati tudi ChatGPT, trenutno najbolj napreden jezikovni model umetne inteligence. Razvilo ga je podjetje OpenAI in je prišel v splošno javno uporabo 30. novembra leta 2022. V manj kot dveh mesecih je dosegel kar sto milijonov mesečnih uporabnikov, kar je najhitreje za katero koli aplikacijo na svetu do sedaj. Zakaj je tako popularen? ChatGPT je zmožen razumeti kontekst vprašanj, se prilagajati komunikacijskim slogom in tudi »izražati« empatijo (vživljanje v drugega). V veliki večini primerov naj bi pomenil zanesljiv vir informacij in podpore za paciente, ki iščejo zdravstvene nasvete na spletu. Vendar pa se poraja vprašanje, ali je strokovno povsem zanesljiv ter kakšna je oblika empatije, ki jo premore.

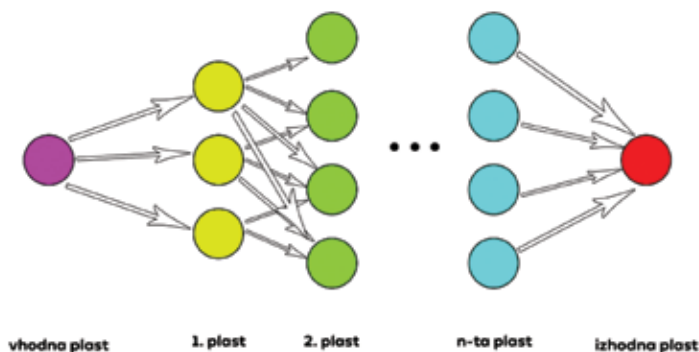
Arhitektura ChatGPT

Preden načnemo tematiko, kaj pomeni ChatGPT za vsakdanje sporazumevanje in odnos med zdravnikom in pacientom, je pomembno razumeti, kako ta jezikovni model deluje in kako je sestavljen. Gre za interdisciplinarno področje lingvistike in računalništva. Središče tega modela je veliki jezikovni model (angleško *Large Language Model, LLM*). Model je vrsta nevronske mreže, ki je naučena na obsežnem korpusu besedil, vključno tudi z medicinsko literaturo, da razume in ustvarja človeški »naravni« jeziki. Model uporablja naučene podatke - zbirke besedil, da se nauči povezav med besedami v jeziku, in nato uporabi to naučeno znanje, da s podobnim slogovnim in vsebinskim vzorcem izpiše odgovor na dano poizvedbo uporabnika (vprašanje ali trditev). Zgolj za občutek si lahko morebiti predstavljamo, da je ta nevronska mreža sestavljena iz šestindevetdesetih plasti (angleško *neural network layers*) in vsebuje stopetinsedemdeset milijard prilagodljivih spremenljivk, kar jo uvršča v enega izmed največjih modelov globokega učenja (angleško *deep learning*), ki je bil kadarkoli ustvarjen v zgodovini. V osnovi je treba nevronske mreže najprej »naučiti« na podatkih oziroma slikah - temu pravimo razvoj -, nato pa lahko z novo pridobljeno nevronske mreže naredimo poizvedbe, bodisi v obliki slik, kjer moramo prepoznati neki predmet na tej sliki, bodisi v obliki vprašanja, kjer pričakujemo odgovor - kot v našem primeru.

Vhodnemu in izhodnemu besedilu, ki vstopa v »naučene« nevronske mreže oziroma izstopa iz njih, se dodeljujejo številčne predstavitev besed - številke, ki jih imenujemo tokeni (glej sliko 2). Namesto besed uporabljamo naključne tokene, saj računalnik številke hitreje in lažje obdeluje kot besede. Pogosto so sestavljene besede, kot je denimo drevored, sestavljene iz več tokenov, saj se besedi *drevo* in *red* lahko pojavljata tudi samostojno ter v drugačnih kontekstih.

Novejši model ChatGPT-ja (GPT-3.5) pozna petsto milijard tokenov, kar pomeni, da je to tudi približno število besed, ki jih pozna in jih lahko povezuje z ostalimi besedami. Model so »učili« na tak način, da zna na podlagi zaporedja vhodnih tokenov predvideti naslednji token (glej sliko 3). Sposoben je ustvariti besedilo, ki je slovnično pravilno in pomensko podobno podatkom na spletu, na katerih se je model učil. Kljub temu pa se je treba zavedati, da izbira naslednje besede na podlagi verjetnosti oziroma točkovnega izida (angleško *score*): če začnemo na primer z besedo *potem*, lahko v navedenem primeru pričakujemo, da bo model kot naslednjo besedo izbral bodisi besedo *vzemi* bodisi besedo *pokaži* bodisi besedo *spij*. Ker ima beseda *vzemi* največjo statistično verjetnost (na primer sedemdesetodstotno), izbere besedo *vzemi* in ne besedo *pokaži* (katere verjetnost je na primer manjša, dvajsetodstotna) ali *spij* (ki ima na primer zgolj desetodstotno verjetnost).

A vendarle se lahko zgodi, da pri drugačnih statističnih verjetnostih oziroma točkovnem



Slika 1: Shema nevronske mreže.
Narisal: Amadej Šenk.

izidu model ustvari odgovor, ki je neresničen ali zlonameren (glej sliko 4). Točkovni izid je zelo pogosto le vsota vseh delnih vrednosti vozlišč nevronske mreže (glej sliko 1), ki ni zapisana kot delež. Torej vrednosti ne segajo od 0 do 1, temveč so vrednosti, ki so lahko poljubno velike in imajo poljubni predznak (pozitivni ali negativni).

V takem primeru uporabimo metodo, ki ji pravimo natančno prilagajanje (angleško *fine-tuning*). S to metodo zgladimo vse take nevšečnosti, kot so slogovno zaznamovane besedne zveze (žaljivke, narečni in pogovorni izrazi, sleng, redkeje poznani žargon), nepravilno sosledje stavčnih struktur, nepravilna vrsta povedi (vzklična namesto pripovedna). Prav tako obstaja filter, ki cenzurira

občutljive trditve, kot so rasne in ksenofobne izjave.

Natančno prilagajanje velikega jezikovnega modela vzpostavimo s spodbujevanim učenjem s človekovo povratno informacijo (angleško *Reinforcement learning from human feedback*, RLHF): model za vsak neprimeren odgovor »programsko« kaznujejo, za vsak ustrezen odgovor pa »programsko« nagradijo – s ciljem, da bi model bil čim večkrat nagrajen. Na tak način se model nauči najbolj verjetnega in vpludnega odgovora, zmanjša oziroma popolnoma izniči pa se verjetnost, da bi bil odgovor neprimeren. Poleg tega pa ChatGPT najverjetneje uporablja še druge filtre, s katerimi še dodatno zmanjša možnost takih nevšečnosti.



Slika 2: Prepisovanje skupine besed v tokene. Narisal: Amadej Šenk.



Slika 3: Primer stavka, ki bi ga ustvaril ChatGPT in je ustrezen. Narisal: Amadej Šenk.



Slika 4: Primer stavka, ki ga bi generiral ChatGPT in ki ni ustrezen. Narisal: Amadej Šenk.

Obsežna zbirka znanj

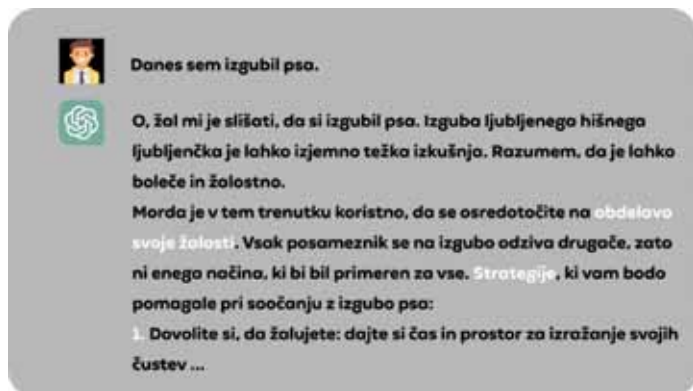
V času, ko je vsako sekundo ustvarjena vedno večja količina podatkov, je uporaba umetne inteligence postala ključna za obvladovanje, analiziranje in razumevanje te poplave informacij. ChatGPT je zasnovan tako, da se obnaša kot sogovornik, ki lahko odgovori na zelo različna vprašanja in se vključuje v pogovor z uporabniki. To je mogoče zaradi širokega podatkovnega nabora, na katerem je bil model izurjen. Vsebuje več milijard besednih zvez, ki so bile pridobljene iz številnih virov na spletu, kot so spletna mesta, članki, knjige in druga besedila v slovenščini kot tudi v drugih jezikih. Natančne podatkovne zbirke, ki so bile uporabljene za učenje ChatGPT v medicini in zdravstvu, ustvarjalec modela OpenAI ni javno razkril. Možne podatkovne zbirke, ki bi jih lahko uporabili za učenje, so znanstveni članki iz medicinskih revij, klinične raziskave, bolnišnični zapisi, medicinski podatki o pacientih, zdravstvene podatkovne zbirke, vprašanja in odgovori na zdravstvenih forumih ter drugi viri, ki vsebujejo medicinske informacije. Pomembno je razumeti, da je kakovost podatkov ključna pri učenju modela za medicinsko oziroma zdravstveno področje. Zato je treba pri izbiri podatkovnih virov in podatkovnih zbirk zagotoviti zanesljive in verodostojne vire, ki temeljijo na strokovnem znanju in usmeritvah medicinske stroke, teh pa kljub porastu podatkov primanjkuje, saj podatki

zaradi morebitne kršitve zasebnosti posameznih pacientov niso v celoti javno dostopni.

Naravna empatija in modeliranje umetne empatije

Empatija je sposobnost razumevanja in deljenja občutkov in pogledov drugih ljudi. Vključuje prepoznavanje njihovih čustev, izkušenj in potreb, povezovanje z njimi, odzivanje na sočuten način in pripravljenost na nesebično pomoč. Empatija sega dlje od zgolj priznavanja čustev nekoga; zahteva, da se postavimo v kožo sočloveka in si poskušamo predstavljati, kako se počutijo. Pogosto jo povezujemo z občutljivostjo, sočutjem in sposobnostjo nudenja tolažbe in podpore drugim. Tako je videti empatija med dvema človekoma. Kako pa je videti empatija med človekom in ChatGPT-jem?

ChatGPT ima posebno programsko enoto, ki zagotavlja, da izraža vljudnost in tudi neko stopnjo »empatije«. Ta empatija pa je v večini primerov zgolj *matematično povprečje* vseh odgovorov in medsebojnih povezav med ljudmi na spletu, pri čemer se slabi in neempatični odgovori po prej opisanem postopku odstranijo iz nabora možnih odgovorov. Že sam model opozarja, da nima razvite dejanske empatije in ne more razumeti čustvenega položaja, razen v primeru, ko se je model s takim položajem že prej srečal. Do zelo zanimivega položaja pride, ko primerjamo stopnjo empatičnosti med zdravnikom in paci-



Slika 5: Primer odgovora, kjer ChatGPT »izraža« navidezno empatijo (z belo označene slogovno zaznamovane besede in besedne zveze). Narisal: Amadej Šenk.

entom ter med ChatGPT-jem in pacientom. Če na hitro analiziramo zgornji odgovor, je moč opaziti nerodne izraze in besedne zveze, ki jih uporabi. Odgovor se s prvimi povedmi začne zelo empatično, v nadaljevanju pa so zelo togo naštetih koraki in navodilo, kako se soočiti z izgubo hišnega ljubljence. Gre za zelo zapleten čustveni položaj, ki zahteva primerno prilagajanje in ustrezno ravnanje. ChatGPT je zagotovo zmogljiv, toda samo do neke stopnje. Tu pa se pojavi še naslednja ovira. ChatGPT namreč nima neomejenega spomina in nima lastnih izkušenj iz preteklosti. Če mu pacient napiše, da se danes (naslednji dan) že počuti nekoliko bolje, se bo ChatGPT odzval z odgovorom, ki ne ve nič o preteklosti – to je o njegovi izgubi psa. Odgovor bo zvenel zelo nevtralen. Vsaka empatična oseba bi zagotovo povprašala, kako se počuti ali če se že kaj bolje počuti kot včeraj. Z napredkom storitve se to seveda lahko izboljša tako, da se poveča spomin pogovorov, ki ga ima model na voljo, vendar pa ta model še vedno nima neke čustvene osnove, s katero bi lahko izražal pravo empatijo.

Trenutno potekajo številne raziskave in študije, kako modelirati empatijo in zagotoviti bolj sočutne odgovore na vprašanja pacientov. Zakaj so odgovori ChatGPT-ja na vprašanja pacientov ocenjeni kot bolj empatični, pa je treba še preučiti.

Primerjava ocen empatičnosti odgovorov ChatGPT-ja in drugih akterjev

Primerjava ocen empatičnosti odgovorov ChatGPT-ja in drugih akterjev je pomembna za oceno uspešnosti modela pri zagotavljanju empatičnih odgovorov pacientom. Številne raziskovalke in raziskovalci po svetu preučujejo empatičnost odgovorov ChatGPT-ja in drugih zdravstvenih strokovnjakov.

Ena izmed teh raziskav, ki jo je objavila Univerza San Diego iz Kalifornije v reviji *JAMA Internal Medicine* 28. aprila letos, je primerjala odgovore ChatGPT-ja z odgovori pravih zdravnikov na portalu *Reddit* na enaka vprašanja pacientov. V tem eksperimentu so bili odgovori anonimizirani (osebni podatki vprašanih so bili izbrisani), pacienti pa so jih ocenili glede na stopnjo empatičnosti, ki so jo izkusili. Presenetljivo je bilo, da so bili odgovori ChatGPT-ja pogosto ocenjeni kot bolj empatični (78,6 odstotka) kot odgovori zdravstvenih strokovnjakov (21,4 odstotka). To daje slutiti, da model lahko ustvari sočutne odgovore na vprašanja pacientov. Raziskovalci, ki so se lotili te raziskave, so poudarili, da namen študije ni bil preučiti možnost zamenjave medicinskega osebja s sistemi umetne inteligence, temveč kako bi lahko vključili take sisteme v zdravstvene sisteme, da bi bili odgovori zdravnikov na vprašanja pacientov boljši in da bi zdravnikom bilo olajšano vedno večje

breme, s katerim se srečujejo pri svojem delu. Pri zdravnikih namreč pogosto pride do pojava, ki mu pravimo utrujenost zaradi sočutja (angleško *compassion fatigue*). Izgorelost zaradi sočutja je ena izmed najbolj kritičnih težav pri zdravnikih in je posledica čustvene in fizične izčrpanosti, ki nastane zaradi stalnega zagotavljanja empatične oskrbe pacientom. Zahtevnost zdravniškega poklica, dolgi delovni urniki, visoko število pacientov in nenehno soočanje s trpljenjem lahko privedejo do izčrpanosti zaradi sočutja in zmanjšanja sposobnosti empatije do pacientov. Ta pojav ima lahko škodljive učinke na dobro počutje in zadovoljstvo zaposlenih v zdravniški stroki ter vpliva na kakovost oskrbe. V prej omenjeni študiji naj bi to bil tudi eden izmed glavnih dejavnikov, zakaj so pacientom zveneli odgovori zdravnikov manj empatični. Vedeti je treba, da je na koncu koncev ChatGPT le program, ki se ne utruje in ustvarja vsakič znova zelo podobne »empatične« odzive in še ni sposoben tako različnih, barvitih odgovorov kot ljudje. Poleg tega so v študiji ugotovili, da ChatGPT kaže nekatere omejitve pri prepoznavanju subtilnih čustvenih odtenkov in dajanju pravih odgovorov v posebnih zdravstvenih primerih.

Omejitve in izzivi pri modeliranju empatije pri ChatGPT-ju

Omejitve in izzivi pri modeliranju empatije pri ChatGPT-ju so ključni vidiki, ki jih je treba upoštevati pri razvoju in uporabi umetne inteligence v zdravstvenem sektorju. Čeprav ChatGPT lahko ponudi empatične odgovore, obstaja več omejitev, ki jih je treba preučiti.

Prvi in najpomembnejši vidik je pomen zdravniškega osebnega in osebnega stika pri zagotavljanju zdravstvene oskrbe. Empatija je kompleksen in večplasten vidik zdravstvenega odnosa, ki vsebuje ne le sposobnost razumevanja čustev pacienta, temveč tudi neizmerni obseg strokovnega znanja, izkušenj in etičnih smernic, ki jih zdravniki pridobijo

v letih izobraževanja in prakse. Zdravniki poleg tega uporabljajo tudi nebesedno sporazumevanje, kot so telesna govorica in izrazi obraza, ki prispevajo k empatični izkušnji pacienta.

Drugi izziv je povezan z zavedanjem omejitev modela ChatGPT. Čeprav model lahko ustvari empatične odgovore, je treba razumeti, da je to posledica učenja iz obsežnih podatkov in ne dejanskega občutka empatije, kot ga izkusi človek. ChatGPT ne more empatično odgovarjati na način, kot bi to storil usposobljeni zdravnik, ki ima čustveno inteligenco in znanje, podprto z bogatimi praktičnimi izkušnjami. Zato je nujno, da uporabniki razumejo, da ChatGPT ni nadomestek za strokovnjake in da je njegova vloga omejena na zagotavljanje osnovnih informacij in podpore pacientom.

Empatija v zdravstvu zahteva razumevanje pacientovega osebnega položaja, ki ga lahko težko prepozna in obravnava avtomatizirani model. ChatGPT je odvisen od podatkov, ki so jih uporabili pri njegovem učenju in lahko vsebuje nezanesljive ali nepopolne informacije. To se ponavadi kaže v nesmiselnem ali nerodnem odgovoru.

Poleg teh tehničnih omejitev je pomembno upoštevati tudi etična vprašanja. ChatGPT se na primer ne more zavedati, kdaj mora preusmeriti pacienta na nujno zdravstveno oskrbo ali ga opozoriti na nevarnost življenja in smrti. V takšnih primerih, ko je potreben hitri in specializirani zdravstveni poseg, sta zanesljivost in pravočasnost informacij ključni. Zato mora biti vedno navzoč človeški zdravstveni delavec, ki je sposoben prepoznati nujnost položaja in zagotoviti ustrezno ukrepanje.

Kljub omejitvam in izzivom pa lahko modeliranje empatije pri ChatGPT-ju prinese tudi pomembne prednosti. Model lahko zagotovi lažji dostop do osnovnih zdravstvenih informacij, podpore in nasvetov, kar lahko koristi pacientom v oddaljenih ali manj dostopnih območjih.

Integriteta zdravnika in ChatGPT-ja

Izraz »zdravnikova integriteta« se nanaša na visoko raven iskrenosti in moralnih načel, ki jih pričakujemo od zdravnikov in tudi drugih zdravstvenih delavcev. Zdravnikova integriteta je ključna za vzpostavitev zaupanja med zdravnikom in pacientom. Ko se bolniki obrnejo na zdravnika, pričakujejo, da bo zdravnik vedno deloval v njihov prid, da bo ravnal pošteno in da bo strokovno in odgovorno opravljal svoje delo. Poleg tega zdravnik ne sme sprejemati podkupnin ali pridobivati kakšnih drugih koristi, ki bi lahko vplivale na njegovo strokovno presojo ali ravnanje. Velikokrat pravimo, da zdravniki razumejo svoj poklic ne kot službo, temveč kot poslanstvo.

Zdravnik in ChatGPT se pri tem v veliki meri razlikujeta, saj prvi ima integriteto, drugi pa ne. Zakaj je temu tako? ChatGPT je program, za katerega vemo, da dela napake in da v nekaterih okoliščinah odgovarja nezanesljivo – to je znanje, ki nam je že vnaprej poznano, zato ne pričakujemo stoddostne zanesljivosti in veljavnosti. Uporabljamo ga kot dodatek pri delu, ne pa kot nekaj samostojnega. Po drugi strani pa je zdravnik samostojen, saj se je najmanj

šest let pripravljalo na svoje poslanstvo. Če tudi zdravnik dela napake in morebiti celo več napak kot sam ChatGPT, vemo, da je zelo malo verjetno, da bi storil tako veliko neumnost, kot bi jo morebiti lahko ChatGPT. Napake zdravnika se ponavadi pojavljajo pri malenkostih, redkeje pri temeljnih stvareh. Pri modelu, kot je ChatGPT, pa se vse napake pojavljajo v podobni frekvenca na vseh ravneh zahtevnosti znanja, tako pri pri osnovnih (na primer, kaj je pljučnica) kot pri zahtevnejših (na primer, kakšen je ustrezen odmerek zdravila pri kompleksni diagnozi) primerih, saj nima pravega zdravniškega znanja in zavedanja o njem. Gre za model, ki ne gradi temeljnega znanja, ampak je le povzetek najverjetnejših besed, katerih kontekst niti najmanj ne pozna in se ga niti ne zaveda.

Zahvala

Za pomoč pri pripravi zapisa v okviru predmeta *Zgodovina medicine z medicinsko humanistiko* na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani se zahvaljujem prof. dr. Zvonki Zupanič Slavec, dr. med., in asist. Ani Jakopin, dr. med., mag. dietet.

Viri in literatura:

Ayers, J. W., Poliak, A., Dredze, M., in sod., 2023: *Comparing Physician and Artificial Intelligence Chatbot Responses to Patient Questions Posted to a Public Social Media Forum*. *JAMA Internal Medicine*, 183 (6): 589–596, doi: 10.1001/jamainternmed.2023.1838. Dostopno na: <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2804309>. (Citirano 17. 5. 2023.)

Eysenbach, G., 2023: *The Role of ChatGPT, Generative Language Models, and Artificial Intelligence in Medical Education: A Conversation With ChatGPT and a Call for Papers*. *JMIR Medical Education*. 2023 Mar 6;9:e46885, doi: 10.2196/46885. PMID: 36863937; PMCID: PMC10028514.

Hurwitz, B., Vass, A., 2002: *What's a good doctor, and how can you make one? By marrying the applied scientist to the medical humanist*. *BMJ*, 325(7366): 667–668, doi: 10.1136/bmj.325.7366.667.

Masa, T., 2023: *Experts Claim ChatGPT Demonstrates*

Higher Empathy Levels Than Real Doctors. *AutoGPT [internet]*. 7. 5. 2023. (Citirano 17. 5. 2023.);

Dostopno na: <https://autogpt.net/experts-claim-chatgpt-demonstrates-higher-empathy-levels-than-real-doctors/>. McPhillips, D., 2023: *ChatGPT provides valuable patient advice, study finds (internet)*. *CNN*. (Citirano 17. 5. 2023.) Dostopno na: <https://edition.cnn.com/2023/04/28/health/chatgpt-patient-advice-study-wellness/index.html>.

Mok, A., Brueck, H., 2023: *ChatGPT is more empathetic than real doctors, experts say (internet)*. *Business Insider*. Dostopno na: <https://www.businessinsider.in/tech/news/chatgpt-is-more-empathetic-than-real-doctors-experts-say/articleshow/99931086.cms>. (Citirano 17. 5. 2023.)

Saraju, A., Bruemmer, D., Van Iterson, E., Cho, L., Rodriguez, F., Laffin, L., 2023: *Appropriateness of Cardiovascular Disease Prevention Recommendations Obtained From a Popular Online Chat-Based Artificial Intelligence Model*. *JAMA Internal Medicine*, 329 (10): 842–844. Dostopno na: doi:10.1001/jama.2023.1044.

Tilley, C., 2023: *ChatGPT provides higher quality and empathetic answers than real doctors 80% of the time*. Daily Mail (internet). 29. 4. 2023. Dostopno na:

<https://www.dailymail.co.uk/health/article-12025345/ChatGPT-provides-higher-quality-empathetic-answers-real-doctors-80-time.html>. (Citirano 17. 5. 2023.)



Amadej Šenk se je rodil leta 1999 v Postojni. Obiskoval je gimnazijo Bežigrad, leta 2022 pa je diplomiral na Fakulteti za računalništvo in informatiko. Trenutno je študent prvega letnika Medicinske fakultete v Ljubljani. V prostem času rad tekmuje na različnih programerskih tekmovanjih in se ukvarja z vpeljavo umetne inteligence v medicinsko okolje pri različnih univerzitetnih projektih.

Mikrobiologija • Vloga oacetnokislinskih bakterij v medonosni čebeli

Vloga oacetnokislinskih bakterij v medonosni čebeli

Metka Vrečko, Janja Trček

Oacetnokislinske bakterije kolonizirajo prebavila številnih žuželk, med drugim komarjev (*Anopheles*, *Aedes*), vinske mušice (*Drosophila melanogaster*) in tudi medonosne čebele (*Apis mellifera*). Medonosne čebele so gospodarsko pomembni opraševalci, katerih populacija se je v zadnjih letih zaradi različnih okoljskih dejavnikov zelo zmanjšala. Oacetnokislinska bakterija *Bombella apis* je ena izmed prevladujočih simbiotov črevesne mikrobiote pripadnikov čebeljega panja, zato lahko domnevamo, da ima pomembno biološko vlogo v tem organizmu. S poznavanjem bakterijskih genomskih zaporedij in njihovo analizo s sodobnimi bioinformacijskimi orodji so bile pridobljene nove informacije o možni vlogi oacetnokislinskih bakterij v samem čebeljem panju in njegovi okolici. Članek bo predstavil najnovejša dognanja o zaščitni vlogi teh bakterij v medonosni čebeli.

Mikroorganizme srečamo v vseh organizmih in njihovem okolju. Z vzpostavitvijo simbiotskega odnosa gostitelju lahko omogočijo razvoj, zaščito pred patogenimi organizmi in paraziti ali celo dostop do ključnih hranil, ki jih v prehrani gostitelja ni oziroma ne dovolj, kar gostitelju omogoča zasedbo nekaterih negostoljubnih prehranjevalnih niš. Zanimiv primer je simbioza medonosne čebele (*Apis mellifera*) z mikroorganizmi njene črevesne mikrobiote. Zaradi svoje specifične prehranske diete se morajo čebele namreč velikokrat zanašati na bakterijske partnerje, s katerimi lahko dopolnijo

manjkajoče hranilne snovi in tako izboljšajo zdravstveno stanje celotnih kolonij (Parish s sod., 2022).

Z vidika zaščite gospodarsko pomembnih opraševalcev, kot je medonosna čebela (*A. mellifera*), je v zadnjih letih deležna posebne pozornosti njena simbiotska bakterija *Bombella apis*, ki predstavlja velik delež njene črevesne mikrobiote. Bakterija *B. apis* je del skupine oacetnokislinskih bakterij znotraj družine *Acetobacteraceae*, ki vsebuje tako prostoživeče predstavnike kot tudi takšne, ki živijo v simbiozi z žuželkami. Najpogostejše jo najdemo v črevesju matice ter hipofarin-