

# Spletna aplikacija za analizo tapkanja s prsti

Filip Zupančič

fz9889@student.uni-lj.si

Fakulteta za računalništvo in informatiko,

Univerza v Ljubljani

Večna pot 113

SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Dejan Georgiev

dejan.georgiev@kclj.si

UKC Ljubljana, Nevrološka klinika,

Zaloška 2

SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Gal Žagar

gz2481@student.uni-lj.si

Fakulteta za računalništvo in informatiko,

Univerza v Ljubljani

Večna pot 113

SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Jure Žabkar

jure.zabkar@fri.uni-lj.si

Fakulteta za računalništvo in informatiko,

Univerza v Ljubljani

Večna pot 113

SI-1000 Ljubljana, Slovenija

## POVZETEK

Diagnoza Parkinsonove bolezni je aktualen raziskovalni problem, s katerim se soočajo zdravniki. Simptomi pri pacientih pogosto niso jasno izraženi, kar poveča možnost za napako pri oceni bolezni. Z uporabo metod strojnega učenja in razvojem namenske uporabniške programske opreme, lahko zdravnik pridobi dodatne informacije, ki zmanjšajo možnost napak pri diagnozi. Prav tako lahko na ta način pacientu ponudimo izbiro, da test opravi doma. Namen članka je predstaviti spletno aplikacijo in zaledni sistem za preprosto analizo posnetka tapkanja s prsti, ki ga izvaja pacient.

## KLJUČNE BESEDE

Aplikacija, vaja tapkanja s prsti, Parkinsonova bolezen, video posnetek, MDS-UPDRS.

### ACM Reference Format:

Filip Zupančič, Gal Žagar, Dejan Georgiev, and Jure Žabkar. 2022. Spletna aplikacija za analizo tapkanja s prsti. In *Proceedings of Student Computing Research Symposium (SCORES'22)*. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/XXXXXXX.XXXXXXX>

## 1 UVOD

Parkinsonova bolezen je počasi napredujoča nevrodegenerativna bolezen, za katero ne poznamo vzroka nastanka. Med najbolj očitne znake oz. simptome bolezni spadajo bradikinezija (upočasnitev gibov), tremor, rigidnost (zvišan mišični tonus), in motnje ravnotežja. Prisotnost omenjenih motoričnih simptomov zdravniki ocenjujejo s pomočjo Združene lestvice za oceno Parkinsonove bolezni Združenja za motnje gibanja (ang. Movement Disorders Society - Unified Parkinson's Disease Rating Scale - MDS-UPDRS) [2]. Ta vsebuje

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

SCORES'22, October 6, 2022, Ljubljana, Slovenia

© 2022 Association for Computing Machinery.

ACM ISBN 978-1-4503-XXXX-X/18/06...\$15.00

<https://doi.org/XXXXXXX.XXXXXXX>

štiri dele vprašanj in motoričnih testov, ki jih pacient izvaja v prisotnosti ocenjevalca/zdravnika. Eden od testov je *tapkanje s prsti*, ki sodi v tretji del lestvice MDS-UPDRS (3.4). S tem testom ocenjujemo upočasnitev gibov, ki je glavna značilnost Parkinsonove bolezni.

Pri tapkanju s prsti se pacient s kazalcem dotika palca, nato pa kazalec kar se da oddalji; ta gib mora čim hitreje ponoviti od 10 do 15-krat. Pri tem se lahko pojavljajo različne motnje (po MDS-UPDRS [2]):

**Prekinitev gibanja** Ponavadi se kaže v kratkih tresljajih, v katerih se dlan za trenutek odmakne od pričakovane poti.

**Obotavljanje** je najkrajša motnja, pri kateri ima pacient težave z iniciacijo gibanja. Lahko se pojavlja tudi med gibanjem, zato jo v praksi težko ločimo od prekinitev.

**Zamrznitev gibanja** je stanje, v katerem se pacientova roka popolnoma ustavi in je nekaj sekund negibna. Zaustavitev traja dlje kot prekinitev in obotavljanje.

**Upočasnitev ali zmanjšanje amplitude gibanja** je s prostim očesom težko prepoznati, saj se amplituda znižuje postopoma. Lažje jo zaznamo na posnetku, z merjenjem razdalje med palcem in kazalcem. Postopno zmanjševanje hitrosti ali amplitude gibov je značilnost upočasnitve gibov pri Parkinsonovi bolezni, redkeje pa ta fenomen vidimo pri drugih oblikah parkinsonizma.

Po izvedbi testa zdravnik z oceno od 0 do 4 oceni stopnjo motnje (Test tapkanja s prsti, MDS-UPDRS, 3.4):

- (0) Pacient je test izvedel brez motenj.
- (1) Nekaj od naštetega: a) pravilen ritem je prekinjen z eno ali dvema prekinitvama ali obotavljanjem; b) rahla upočasnitev; c) zmanjšanje amplitude proti koncu izvajanja.
- (2) Kar koli od naslednjega: a) 3 do 5 prekinitev; b) blaga upočasnitev; c) amplituda se zmanjša na sredini izvajanja.
- (3) Kar koli od naslednjega: a) več kot 5 prekinitev ali vsaj enkrat daljša zaustavitev; b) zmerna upočasnitev; c) amplituda zmanjševanje se začne po 1. dotiku.
- (4) Pacient ni bil zmožen dokončati testa.

Podana ocena je subjektivna in je v veliki meri odvisna od pozornosti zdravnika pri ocenjevanju. Zdravnik nima možnosti ponovnega ogleda opravljenega testa; pacient ga lahko sicer ponovno izvede,

pri čemer je treba upoštevati spremenjene pogoje - pacient se lahko utruji in rezultati so slabši. V pomoč zdravniku smo razvili spletno aplikacijo, ki omogoča objektivno analizo in ocenjevanje testa tapkanja s prsti. Zastavljena je kot preprost ekspertni sistem za podporo odločanju pri diagnozi bolezni. Zaledni del aplikacije skrbi za obdelavo video posnetkov in iskanje smiselnih vzorcev v podatkih. Uporabniški vmesnik je v osnovi namenjen grafičnemu prikazu analize videoposnetka. Prav tako uporabniku omogoča preprosto nalaganje video datotek, ki jih želi analizirati.

## 1.1 Pregled področja

V literaturi zasledimo metode za pomoč pri diagnostiki Parkinsonove bolezni z uporabo strojnega učenja [1]. Ključna problema sta pomanjkanje kvalitetnih podatkov in velik problemski prostor, kar pomeni, da rešitev ni trivialna in trenutno ne obstaja konsenza o najbolj primernem pristopu k reševanju. V raziskavi [3], ki vključuje 387 video posnetkov testa tapkanja s prsti, je bilo vključenih 13 pacientov s Parkinsonovo boleznijo; izvedena je bila klasifikacija z uporabo podpornih vektorjev, s katero je dosežena 88% natančnost. V [7] je opisana klasifikacija po MDS-UPDRS lestvici z uporabo orodja DeepLabCut za sledenje gibanja dlani in hitra Fourierjeva transformacija za prepoznavo porazdelitve frekvenc v časovnih vrstah posameznega premika prstov iz ene skrajne lege v drugo. Raziskava je bila narejena na 138 video posnetkih 39 pacientov. Rezultati so pokazali Pearsonovo korelacijo z MDS-UPDRS (0.69,  $p < .001$ ).

## 2 RAZVOJ APLIKACIJE

Razvili smo spletno aplikacijo, ki rešuje zgoraj omenjen problem ocenjevanja testa tapkanja s prsti. Njen glavni namen je zdravniku omogočiti, da si video posnetek pacienta, ki izvaja omenjeni test, lahko večkrat (tudi upočasnjeno) predvaja in na podlagi obdelave posnetka dobi dodatne informacije, ki mu pomagajo pri postavitvi diagnoze.

### 2.1 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik smo razvili z uporabo JavaScript ogrodja *Vue.js*. Uporabili smo tehnologije HTML in CSS za definiranje samega izgleda aplikacije in programski jezik JavaScript za implementacijo aplikacijske logike. Uporabniški vmesnik je sestavljen iz dveh enostavnih strani oz. aktivnosti: *začetna stran* in *stran za prikaz rezultatov*.

**2.1.1 Začetna stran.** Na njej lahko uporabnik naloži video posnetek, ki ga želi analizirati. Na strani se nahajata 2 gumba. Prvi omogoča uporabniku, da naloži željeno datoteko oz. video posnetek pacienta (med izvedbo testa tapkanja s prsti). Dovoljena formata posnetkov sta *mp4* in *avi*. S klikom na gumb 'Upload video' uporabnik sproži procesiranje izbranega posnetka. Posnetek se ob tem posreduje zalednemu sistemu oz. spletnemu strežniku. Strežnik je razvit v programskem jeziku Python in vsebuje glavni program za procesiranje video posnetkov. Z uporabo ogrodja Flask smo razvili REST API za komunikacijo med zalednim sistemom in spletno aplikacijo.

Po končanem procesiranju strežnik aplikaciji posreduje podatke o obdelanem video posnetku. Aplikacija obvesti uporabnika o uspešnosti. Pridobljene podatke shranimo v lokalno shrambo z namenom, da jih kasneje uporabimo na drugi strani aplikacije. Med podatki se nahajajo naslednji parametri posnetka, ki smo jih zajeli in izračunali med obdelavo:

- **Izračunana razdalja** med konico palca in konico kazalca, v vsakem trenutku posnetka,
- **Hitrost** gibanja kazalca proti palcu,
- **Pospešek** kazalca proti palcu, ter
- **Kot** in **kotna hitrost** med palcem in kazalcem dlani.

V naslednjem koraku izračunane podatke uporabniku tudi prikazemo. Tako lahko nadaljujemo z drugim delom našega vmesnika in sicer stran za analizo in prikaz rezultatov procesiranja.

**2.1.2 Stran za analizo in prikaz rezultatov.** Glavni namen je uporabniku na lep način prikazati podatke predhodnega procesiranja (slika 1).

Ena izmed glavnih komponent na tej strani je obdelan posnetek, ki ga je uporabnik naložil v prejšnjem koraku. Med procesiranjem na strežniku posnetek opremimo z izrisom skeleta na palcu in kazalcu. Uporabnik si lahko posnetek pogleda in ga analizira s pomočjo izračunanih količin. Posnetek po končani obdelavi shranimo v S3 zabojnik (angl. S3 bucket) in ga od tam prek HTTP zahtevkov pošljemo na našo stran. Na strani prikazan posnetek si lahko zdravnik večkrat predvaja.

Poleg posnetka na strani prikazemo tudi posamezne lastnosti gibanja dlani, izračunane med procesiranjem posnetka. Le te so predstavljene v obliki grafov. Trenutno sta na strani prikazana dva in sicer:

- Graf dolžine med konico palca ter kazalca v odvisnosti od časa in
- Graf hitrosti gibanja palca proti kazalcu v odvisnosti od časa.

Zdravnik poleg posnetka dobi možnost podrobne analize in vpogleda v gibanje pacienta, kje se je gibanje upočasnilo, kje je prišlo do dotika, koliko časa je trajal ter kakšne so zakasnitve med gibanjem.

## 3 REZULTATI ANALIZE POSNETKA

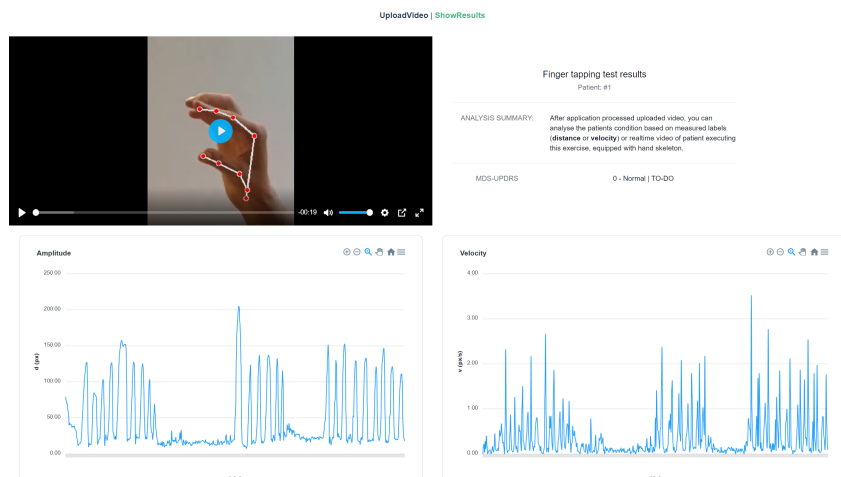
V tem razdelku podrobneje predstavimo rezultate procesiranja video posnetka ter posamezne elemente strani za analizo in prikaz rezultatov.

### 3.1 Video posnetek s skeletom dlani

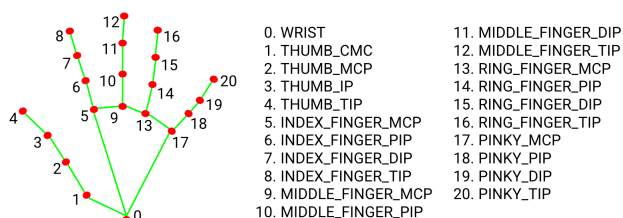
Glavni del aplikacije je video posnetek, ki ga naloži zdravnik in prikazuje pacienta med izvajanjem testa tapkanja s prsti. Po uspešnem nalaganju posnetek posredujemo zalednemu sistemu, kjer ga analiziramo in obdelamo. Iz posnetka izluščimo čim več uporabnih informacij o gibanju pacientovih prstov med izvajanjem testa.

Za obdelavo posnetka smo uporabili knjižnico OpenCV [6] in model Mediapipe Hands [4] za zaznavanje dlani na posnetku:

- **OpenCV** je odprtokodna knjižnica, ki zajema področje računalniškega vida ter strojnega učenja. Knjižnico smo uporabili za segmentacijo posnetka na posamezne okvirje oz. slike.



Slika 1: Stran za analizo in prikaz rezultatov.



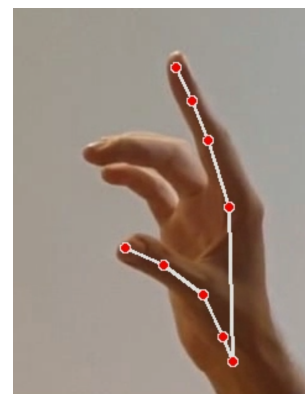
Slika 2: Slika prikazuje 21 točk skeleta dlani, ki jih dobimo kot rezultat zaznavanja dlani z uporabo modela Mediapipe Hands.

- **Mediapipe Hands** je model za zaznavanje dlani v realnem času. Model je implementiran v ogrodju Mediapipe [5]. Uporabili smo ga za zaznavanje dlani na posameznih slikah pridobljenih po predhodni segmentaciji posnetka.

Nad vsako sliko dlani smo izvedli zaznavanje roke z uporabo modela Mediapipe Hands. Rezultat je množica koordinat 21 točk skeleta dlani (Slika 2). V našem programu smo za analizo posnetka uporabili točke palca in kazalca (točke od 0 do 8) in iz njihovih koordinat izračunali naslednje lastnosti gibanja: razdaljo med konico palca in kazalca, hitrost gibanja kazalca proti palcu, pospešek kazalca, kot med prstoma in kotno hitrost. Te točke smo izrisali na prvotni posnetek (Slika 3). S skeletom opremljen posnetek zaznane dlani prikazemo v oknu aplikacije. Zdravniku omogoča večkratni pogled ter počasno, pozorno analizo. Omogoča tudi preverjanje izračunanih podatkov, kar vpliva na zanesljivost končne diagnoze.

### 3.2 Grafi posameznih lastnosti

Na strani smo poleg video posnetka prikazali še dva grafa. Z grafi smo želeli omogočiti zdravniku, podrobnejšo analizo gibanja pacienta. Iz njih lahko namreč razbere različne anomalije gibanja, ki so se pojavile med samo izvedbo vaje. Grafi prikazujejo lastnosti oz. informacije o video posnetku, ki smo jih izračunali med procesiranjem. Med številnimi, zgoraj omenjenih lastnosti smo na strani prikazali 2 grafa in sicer:

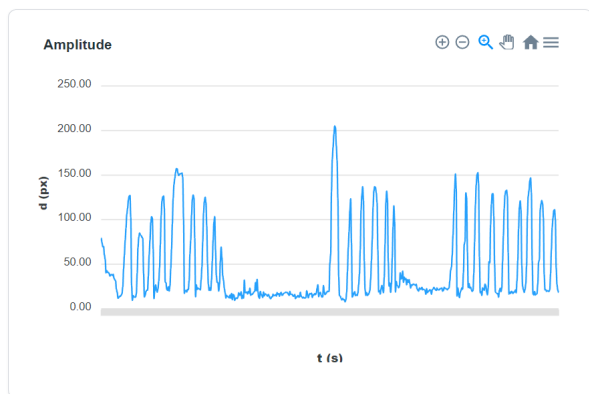


Slika 3: Na posamezni sliki video posnetka smo, s pomočjo točk pridobljenih z zaznavanjem dlani, izrisali skelet palca in kazalca.

- Graf, ki prikazuje izračunano razdaljo med konico palca in konico kazalca v odvisnosti od časa ter
- Graf izračunane hitrosti v odvisnosti od časa, s katero se kazalec giblje proti palcu

**3.2.1 Graf razdalje med prstoma.** Posnetek smo razdelili na posamezne slike in vsako posebej analizirali. Ena pomembnejših lastnosti pri oceni testa je spreminjanje razdalje med palcem in kazalcem v času. Na vsaki sliki smo izračunali razdaljo med konicama prstov; uporabniku prikazemo graf razdalje v odvisnosti od časa (Slika 4).

Tako si lahko zdravnik graf pogleda in prepozna različne anomalije, ki so nastale med izvedbo testa. Zdravnik lahko opazi kje je imel pacient težave z gibanjem, spremlja amplitudo gibanja in določi ali se je pacient sčasoma utrudil in pa razpozna lahko ustavitve, prekinitev in obotavljanje pacienta med izvedbo testa. Kot primer lahko vzamemo sliko 4; graf prikazuje spreminjanje razdalje med palcem in kazalcem v odvisnosti od časa. Iz njega je lepo razvidno, da je med izvedbo testa prišlo do dveh daljših zaustavitev tapkanja.



Slika 4: Graf prikazuje razdaljo med konico palca in kazalca dlani v odvisnosti od časa.

Te informacije so lahko zelo koristne za zdravnika, ko se odloča za končno oceno izvedbe testa.

**3.2.2 Graf hitrosti gibanja.** Graf hitrosti, s katero se kazalec giblje proti palcu, pomaga zdravniku ugotoviti ali je pri izvedbi testa prišlo do postopnega zmanjšanja hitrosti gibanja. To je namreč tudi ena izmed pomembnih značilnosti bolezni na katero mora biti zdravnik pozoren. Računali smo hitrost v konici kazalca dlani in sicer v vsaki sliki video posnetka. Čas med slikami je približno 0.03 s za spremembo razdalje opazovane točke kazalca pa smo uporabili kar evklidsko razdaljo med točko na predhodni sliki in pa točko na trenutni sliki. Tako smo izračunali hitrost po posamezni komponenti točke,  $v_x = \frac{|d_x|}{t}$  in  $v_y = \frac{|d_y|}{t}$ . Po tem pa smo lahko izračunali še skupni vektor hitrosti po formuli:

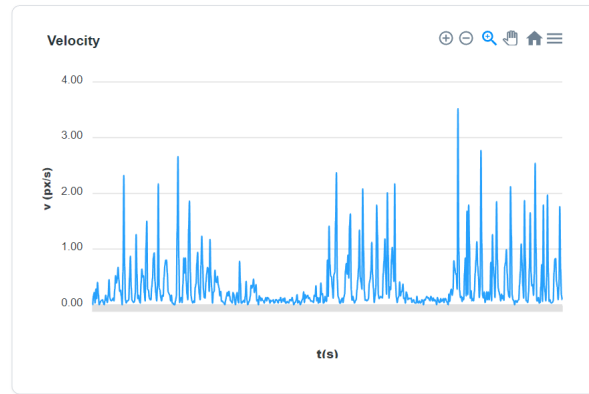
$$v = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2}$$

Rezultati za vsako posamezno sliko so bili po procesiranju shranjeni in posredovani aplikaciji. Tako smo tudi v tem primeru na strani prikazali graf spremembe hitrosti v času. Tudi iz tega grafa lahko izlušči koristne informacije. Prepozna lahko ustavitve gibanja, krajše prekinitev ter ali je pri gibanju prišlo do zmanjšanja hitrosti. Slika 5 prikazuje graf spremembe hitrosti gibanja pri istem pacientu kot na sliki 4. Tudi tukaj je lepo razvidno kje je prišlo do ustavitve gibanja, ki pričakovano časovno sovpadajo na obeh slikah.

Zdravniku smo z grafi želeli podati čim več dodatnih informacij o poteku testa tapkanja s prsti, s katerimi bi si lahko pomagal pri določanju končne ocene. V prihodnosti želimo na strani predstaviti še več koristnih podatkov (npr. frekvenčna analiza, kotna hitrost, pospešek itd.) in tako še izboljšati uporabniško izkušnjo in olajšati analizo testa. Planiramo tudi testirati možnost kvantifikacije amplitude in hitrosti gibov s primerjavo parametrov, ki jih dobimo iz video posnetkov in klinično oceno amplitude oz. hitrosti na podlagi MDS-UPDRS lestvice.

## 4 ZAKLJUČEK

Predstavili smo spletno aplikacijo za pomoč zdravnikom pri analiziranju testa tapkanja s prsti. Aplikacija zaenkrat prikazuje le osnovne informacije in ne posega v klinično diagnozo zdravnika.



Slika 5: Slika prikazuje graf hitrosti gibanja kazalca proti palcu, v odvisnosti od časa.

V prihodnosti si želimo iz pridobljenih podatkov ustvariti model za razpoznavanje anomalije gibanja ter na koncu tudi podati svojo oceno amplitude in hitrosti giba. Smiselna nadgradnja je prikazovanje motenj pri izvanaju testa v različnih časovnih intervalih izvajanja. Najprej moramo iz obstoječih posnetkov razbrati še nekaj dodatnih lastnosti, ki jih bo uporabljal naš model. Eden od obetavnih pristopov je frekvenčna analiza z uporabo Fourierjeve transformacije, s katero lahko razberemo vzorce v gibanju, ki s prostim očesom niso vidni. Dodatno lahko anomalije v gibanju prepoznavamo z modelom končnih avtomatov, ki je sestavljen iz stanj v katerih se nahaja roka med izvajanjem testa. Ključno za zanesljiv sistem je testiranje na večjem številu posnetkov, zato bo v prihodnosti velik poudarek na pridobivanju ustreznih podatkov.

## LITERATURA

- [1] Minja Belić, Vladislava Bobić, Milica Badža, Nikola Šolaja, Milica Đurić Jovičić, and Vladimir S. Kostić. 2019. Artificial intelligence for assisting diagnostics and assessment of Parkinson's disease—A review. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 184 (2019), 105442. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105442>
- [2] Christopher G Goetz, Barbara C Tilley, Stephanie R Shaftman, Glenn T Stebbins, Stanley Fahn, Pablo Martinez-Martin, Werner Poewe, Cristina Sampaio, Matthew B Stern, Richard Dodel, et al. 2008. Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): scale presentation and clinimetric testing results. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society* 23, 15 (2008), 2129–2170.
- [3] Taha Khan, Dag Nyholm, Jerker Westin, and Mark Dougherty. 2014. A computer vision framework for finger-tapping evaluation in Parkinson's disease. *Artificial Intelligence in Medicine* 60, 1 (2014), 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2013.11.004>
- [4] GOOGLE LLC. 2020. *Mediapipe Hands*. <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands.html> Mediapipe Hands solution page.
- [5] GOOGLE LLC. 2020. *Mediapipe Home*. <https://google.github.io/mediapipe/> Mediapipe home page.
- [6] OpenCV Team. 2022. *OpenCV*. <https://opencv.org/> OpenCV home page.
- [7] Stefan Williams, Zhibin Zhao, Awais Hafeez, David C. Wong, Samuel D. Relton, Hui Fang, and Jane E. Alty. 2020. The discerning eye of computer vision: Can it measure Parkinson's finger tap bradykinesia? *Journal of the Neurological Sciences* 416 (2020), 117003. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.117003>