

## PRIMJENA ANDROID WEAR PAMETNIH TELEFONA S FOTOPLETIZMOGRAFSKIM SENZORIMA U BIOFEEDBACK TERAPIJI

### APPLICATION OF ANDROID WEAR SMARTWATCHES WITH PHOTOPLETHYSMOGRAPHIC SENSORS IN BIOFEEDBACK THERAPY

Ivan Pejak<sup>1</sup>, Dominik Otočan<sup>1</sup>, Marko Horvat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, Student

<sup>2</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

#### Sažetak

Sve veći broj psiholoških poteškoća uzrokovanih stresom nameće nužnost istraživanja primjena novih tehnologija u prevenciji i liječenju mentalnih poremećaja. Primjena pametnih satova s ugrađenim fiziološkim senzorima omogućuje detekciju srčanog ritma, te time potencijalno i nekih povezanih terapijskih postupaka. Autori su na ispitanicima izvršili mjerenja srčanog ritma korištenjem dva različita pametna mobilna uređaja. Na uređajima je bila instalirana vlastita izrađena Android Wear aplikacija za mjerenje srčanog ritma, te još dvije komercijalne aplikacije iste namjene. Točnost svih mjerenja kontrolirana je pomoću profesionalnog uređaja za psihofiziološka mjerenja. Dobiveni podaci su statistički obrađeni, određene su mjere središnje tendencije, te su dobiveni pokazatelji uspoređeni. Može se zaključiti da se neki pametni satovi već sada mogu koristiti za osnovne oblike biofeedback terapije. Nabavka tradicionalne profesionalne opreme nije uvijek nužna. Vlastita mobilna aplikacija ne razlikuje se znatno u točnosti mjerenja od komercijalnih. Razvojem mobilnih tehnologija možemo očekivati da će se u skoroj budućnosti uvelike povećati mogućnosti primjene nosivih uređaja u nadzoru fiziologije.

**Ključne riječi:** srčani ritam, fotopletizmograf, mobilno računarstvo, biofeedback, Android Wear

#### Abstract

An increasing number of psychological problems caused by stress impose the necessity of research into the application of new technologies in the prevention and treatment of mental disorders. The use of smartwatches with built-in physiological sensors allows for the detection of cardiac rhythm and potentially some related therapeutic procedures. Authors conducted heart rate measurements using two different smart mobile devices. The devices have been installed with their own built-in Android Wear heart rate measurement application, as well as two commercial applications of the same purpose. The accuracy of all measurements was controlled by a professional psychophysiological measuring device. The obtained data were statistically processed, measures of central tendency were determined and the obtained features were compared. It may be concluded that some smartwatches can even now be used for basic forms of biofeedback therapy. Acquisition of traditional professional equipment is not always necessary. The proprietary mobile application does not differ significantly in the measurement accuracy from commercial. With further development of mobile technologies, we can expect that in the near future, the capabilities of wearable devices for physiology monitoring will be greatly increased.

**Keywords:** heart rate, photoplethysmograph, mobile computing, biofeedback, Android Wear

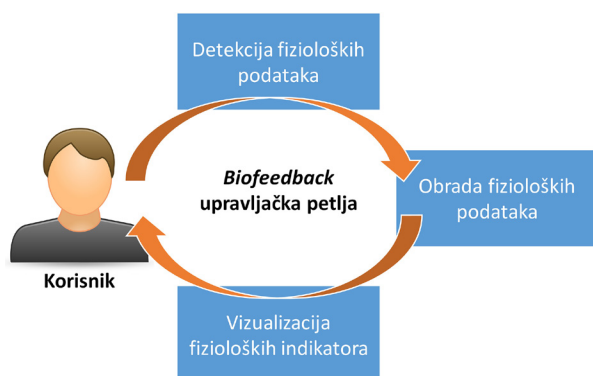
## 1. Uvod

### 1. Introduction

Tehnologija pametnih satova i različitih fitness narukvica neprestano napreduje i oni se sve više koriste za praćenje osobne fizičke aktivnosti i zdravlja. Jedna od najvažnijih mogućnosti takvih uređaja jest mjerenje srčanog ritma. Na temelju dobivenih fizioloških podataka i poznavanja glavnih principa biofeedback terapije osoba može dobiti uvid u svoje fiziološko stanje i na njega utjecati.

Prilikom korištenja novih tehnologija nužno se postavlja pitanja njihove točnosti, odnosno svrhe i ispravnosti primjene. Ako pametni mobilni uređaji ne mogu pružiti dovoljno kvalitetne podatke za provođenje terapije i procjenu parametara zdravlja, onda moramo zaključiti da – unatoč kontinuiranom napretku računalnih tehnologija – nisu praktično primjenjivi. Stoga su autori proveli pilot-istraživanje mjerenja srčanog ritma s komercijalno dobavljivim pametnim satovima, te usporedili tako dobivene rezultate s podacima istodobno dobivenim od profesionalnog uređaja za mjerenje fiziološke aktivnosti. Konačni rezultati su ohrabrujući i govore u prilog mogućnosti primjene pametnih mobilnih uređaja u kontinuiranom mjerenju srčanog ritma.

U sljedećem poglavlju ovog rada opisan je biofeedback postupak, svrha i primjena takve terapije. U trećem poglavlju obrađena je tehnologija pametnih uređaja s fotoplektizmografskim senzorima, te je predstavljena Android Wear mobilna aplikacija izrađena za mjerenje srčanog ritma u okviru ovog istraživanja.



**Slika 1:** Biofeedback upravljačka petlja

**Figure 1:** Biofeedback control loop

Nakon toga opisan je eksperiment kontinuiranog mjerenja srčanog ritma s dva vodeća pametna sata i umjerenog medicinskog uređaja. Rezultati su statistički obrađeni i uspoređeni. Izneseni su problemi i ograničenja tehnologije i terapije te njihova moguća rješenja. Na kraju rada nalazi se zaključak u kojemu se razmatra budući razvoj ovih tehnologija.

## 2. Biofeedback terapija

### 2. Biofeedback therapy

Zbog boljeg razumijevanja područja istraživanja potrebno je prvo objasniti pojam biofeedback terapije. Postoji nekoliko definicija samog pojma, no većina ih zastupa istu ideju pa se u ovom radu navode dvije. Prema [1] „Biofeedback je proces ili tehnika svojevoljnog učenja kontrole nad automatskim, refleksno-kontroliranim tjelesnim funkcijama“. Već iz te definicije jasno je vidljivo da biofeedback izlazi iz domene tradicionalnih zdravstvenih postupaka. U prvi plan se stavlja pacijent koji sam utječe na svoje fiziološko stanje uz pomoć određenih instrumenata koji na njemu razumljiv način vizualiziraju njegovo trenutno fizičko stanje. Nadalje, prema [2] „Biofeedback jest bilo koja tehnika koja povećava mogućnosti osobe da svojevoljno kontrolira fiziološke aktivnosti, a istovremeno daje povratne informacije o njima“. Obje definicije daju vrlo dobar uvid u ono što biofeedback predstavlja, a to je učenje kontrole nad fiziološkim procesima za koje se dugo mislilo da su izvan voljnog ljudskog dohvata. Primjerice, moždana aktivnost, krvni tlak i srčani puls su neki od procesa kojima se može upravljati u biofeedback upravljačkoj petlji [3]. Pri tome je važno naglasiti da se biofeedback ne koristi za liječenje bolesti već za vraćanje mentalnih i fizioloških procesa u početno stanje [3]. S obzirom da sami rezultati ovise o volji pojedinca da posveti vrijeme učenju i treningu, ne može se reći da je terapija primjenjiva na cijelu populaciju [3]. Također, iz cjelokupne terapije se izbacuje utjecaj liječnika koji ne utječe direktno na izlječenje već postaje samo još jedan instrument u razumijevanju pacijentovih procesa [3] [4]. S druge strane, postoji velik broj navoda literature i dokumentiranih slučajeva koji podržavaju tezu o djelotvornosti obitelji biofeedback terapija koje koriste različite fiziološke signale (npr. [5] [6] [7]).

Srčani ritam nastaje kao oblik spontane električne aktivnosti u srčanom organu. Brojne studije pokazale su da se u mnogim slučajevima srčanih bolesti utjecaj srčanog ritma, na funkcije srca, drastično mijenja s razvojem bolesti. Srčani ritam i njegova varijabilnost od velike su važnosti za prognoziranje stanja pacijenata sa srčanim problemima. Mjeri se u otkucajima po minuti, te je kod normalnog odraslog čovjeka prosječan broj otkucaja 80 u minuti [8]. Osim toga, dobar je pokazatelj nastanka i razvoja srčanih aritmija. Pravovremena detekcija srčanih aritmija može spriječiti različite komplikacije pa čak i smrt pacijenata. Srčani ritam može biti ili ubrzan (tahiaritmija, tahikardija) ili usporen (bradiaritmija, bradikardija) i danas se mjeri elektrokardiografski. Kada je ljudsko tijelo pod fizičkim ili psihičkim stresom, puls je ubrzan, dok u drugim stanjima poput depresije može biti usporen. Vrlo je bitno dovesti srčani ritam u granice normale kako bi se spriječio nastanak bolesti koje su, u velikom postotku, pogubne.

U biofeedbacku svladavanje kontrole nad srčanim ritmom smatra se jednom od najjednostavnijih terapija, tj. tehnika. Cilj je usporiti ili ubrzati srčani ritam na temelju povratne informacije izmjerene nekim od uređaja. Istraživanja su pokazala da kod pacijenata s aritmijom koji nisu uspjeli do kraja svladati tehnike i metode učenja kontrole srčanog ritma, daljnji razvoj aritmije je postotkom bio niži. Iz navedenoga se može zaključiti da je za pozitivne rezultate bio dovoljan i pokušaj u pravcu kontroliranja ritma. Važno je napomenuti da također postoje pojedinci na koje terapija ne djeluje, a najčešće su to osobe s blokadom između klijetki i pretklijetki srca.

### **3. Prijenosni uređaji s fotopletizmografskim sensorima za mjerenje srčanog ritma**

#### ***3. Mobile devices with photoplethysmographic sensors for continuous heart rate measurement***

Pulsna oksimetrija (engl. pulse oximetry) je naziv za grupu neinvazivnih metoda koje se koriste za mjerenje zasićenosti krvi kisikom (oksigenacije), odnosno postotka krvnog hemoglobina zasićenog kisikom koji se naziva oksihemoglobin (engl. saturation of peripheral oxygen, SpO<sub>2</sub>) [9].

Pulsni oksimetri posredno omogućavaju i mjerenje brzine otkucaja srca. Pripadni senzori najčešće se postavljaju na vrh prsta ili na ušnu resicu. Takav senzor sastoji se od dva izvora svjetla valnih duljina 650nm i 805nm, koji se djelomično apsorbiraju u hemoglobinu u ovisnosti o zasićenosti ili nezasićenosti kisikom. Računajući apsorpciju na dvjema valnim duljinama moguće je računalno odrediti zasićenost hemoglobina kisikom. Općenito možemo reći da se pulsna oksimetrija temelji na dva principa: da se oksihemoglobin i deoksihemoglobin razlikuju po apsorpciji crvenih i infracrvenih zraka (metoda spektrofotometrije), te da se količina arterijske krvi u tkivu (pa prema tome i apsorpcije svjetla kroz krv) mijenja tijekom pulsacije (metoda pletizmografije) [10] [11].

Fotoelektrična pletizmografija (engl. photo plethysmography, PPG), ili skraćeno samo fotopletizmografija, je jedna od metoda pulsne oksimetrije [10] [11]. To je također neinvazivna metoda, vrlo jednostavna za implementaciju i široko korištena. Zasnovana je na mjerenju razlike intenziteta infracrvene zrake koja prolazi kroz kožu i tkivo pomoću fotodetektora ili kamere. U tipičnom fotopletizmografskom senzoru nalaze se LED diode koje su pogonjene sinusnim signalom vrlo stabilne amplitude. Budući da koža dobro provodi infracrvene valne duljine apsorpcija je najveća u krvnim žilama, a najmanja u tkivu. Signal dobiven u fotodetektoru proporcionalan je promjeni volumena krvnih žila. Tako dobiva informacija ovisi o srčanom ritmu i krvnom tlaku. Ako je u nekom vremenskom razdoblju krvni tlak konstantan fotopletizmografski senzor može se koristiti za neposredno i brzo mjerenje srčanog ritma.

Za opisano pilot-istraživanje korištena su dva pametna sata, LG G Watch R W110 i Motorola Moto360 Sport, te su izravno uspoređivani s profesionalnim biofeedback uređajem NeXus-10 proizvođača Mind Media. Korišteni uređaji su široko zastupljeni, a po kvaliteti, ali i cijeni, pripadaju srednjoj ili višoj kategoriji trenutno komercijalno dostupnih uređaja. Tehničke karakteristike pametnih satova prikazane su u Tablici 1. Oba sata imaju fotopletizmografske senzore.

**Tablica 1:** Tehničke karakteristike pametnih satova korištenih u eksperimentu

**Table 1:** Technical specifications of smartphones used in the experiment

Operacijski sustav	Android Wear
Čipset	Qualcomm Snapdragon 400
CPU	Quad-core 1.2 GHz Cortex-A7
GPU	Adreno 305
RAM	512 MB RAM



**Slika 2:** Prikaz korištenih pametnih telefona: LG G Watch R W110 lijevo, Motorola Moto360 Sport desno

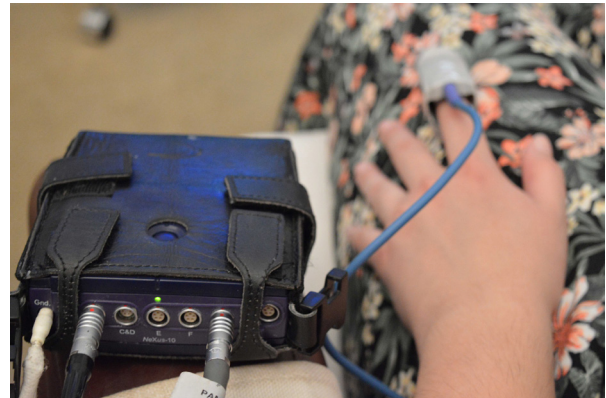
**Figure 2:** Illustration of smartphones used in the experiment. LG G Watch R W110 left, Motorola Moto360 Sport right

Iz specifikacija navedenih pametnih satova vidljivo je da su uređaji opremljeni istom programskom podrškom i sklopovljem, tj. softverom i hardverom, što se tiče procesora, grafičkog procesora te radne memorije. Ono što se razlikuje jest izvedba fotopletizmografskog senzora srčanog ritma kao što je prikazano na slici 2. Nažalost zbog zaštite intelektualnog vlasništva, točne specifikacije senzora nisu javno objavljene.

NeXus-10 je profesionalni 10-kanalni uređaj za mjerenje fizioloških procesa koji se povezuje s računalom i koristi vlastitu programsku podršku i protokol za prijenos podataka [4]. Uz mogućnost bežičnog Bluetooth spajanja, posjeduje i utor za memorijsku karticu koja omogućuje do 24h sata snimanja bez povezanosti s računalom. Omogućuje prikupljanje podataka s brzinom od 2048 bit/s i služi za mjerenje EEG, EKG, EMG i EOG signala.

Dizajniran je specifično kako bi smetnje bile na minimalnoj razini uz maksimalnu preciznost dobivenih rezultata. U radu je korišten za usporedbu rezultata mjerenja srčanog ritma s onima dobivenim na pametnim satovima.

Softver instaliran na računalo je „BioTrace+ for NeXus-10“ verzija 1.2.0.0. [4]. Na slici 3 prikazan je uređaj Nexus-10 s povezanim senzorom za pulsnu oksimetriju korištenim koji se koristio za mjerenje srčanog ritma tijekom eksperimenta.



**Slika 3:** Uređaj Nexus-10 s povezanim senzorom za pulsnu oksimetriju korištenim tijekom eksperimenta

**Figure 3:** Nexus-10 physiology monitoring device with pulse oximetry sensor

## 4. Eksperiment mjerenja srčanog ritma

### 4. Heart rate measurement experiment

Cilj ovog pilot-istraživanja bio je utvrditi, barem načelno, točnost senzora srčanog ritma kod pametnih satova. Ovisno o dobivenoj točnosti mogla bi se razmotriti njihova primjenjivost u biofeedback terapijama. Prije samih mjerenja opća pretpostavka je bila da se senzori ugrađeni u pametne satove ne mogu u svojoj točnosti uspoređivati s profesionalnim uređajima, koji su višestruko skuplji i kompleksniji.

Eksperiment je proveden uz suradnju s „Hrvatskom udrugom za biofeedback i primijenjenu psihofiziologiju“. Mjerenja su rađena s profesionalnim uređajem NeXus-10 i pripadnim softverom BioTrace+ u prostorijama Udruge. Mjerenja su se provodila na dvoje ispitanika, prvo u stanju mirovanja, a zatim nakon lagane fizičke aktivnosti. Ispitanici su sjedili u naslonjaču, te im je na prst ruke (prvo desne, pa onda lijeve) bio priključen senzor NeXus-10 uređaja. U isto vrijeme oko zgloba ruke (također prvo desne, pa onda lijeve) nosili su pametni sat sa senzorom postavljenim na donju stranu ruke zbog maksimalne blizine krvnim žilama ruke.



Na korištenim pametnim satovima instalirana je vlastito razvijena Android Wear aplikacija za mjerenje srčanog ritma o čijoj implementaciji su ovisili rezultati mjerenja. Također, osim s navedenom aplikacijom, usporedba mjerenja izvršena je i s pred instaliranim komercijalnim aplikacijama na pametnim satovima. Svrha ovog dijela mjerenja je odgovor na pitanje: da li preciznost mjerenja ovisi samo o senzoru ili i o aplikaciji, tj. softveru satova?



**Slika 4:** Provedba eksperimenta mjerenja srčanog ritma u prostorijama „Hrvatske udruge za biofeedback i primijenjenu psihofiziologiju“

**Figure 4:** Heart rate measurement experiment in „Croatian biofeedback association for biofeedback and applied psychophysiology“

Mjerenje se provodilo istovremeno na satu i profesionalnom uređaju, a sami uređaji su bili priključeni ili na istu ili različitu ruku. Uz ispitanike u mjerenjima je sudjelovala i psihologinja koja je pažljivo promatrala i bilježila rezultate na prijenosnom računalu koristeći BioTrace+ softver. Također, sudjelovanje stručne osobe osiguralo je da će za vrijeme mjerenja uređaj biti pravilno kalibriran i podešen na pravilne postavke, odnosno da će sudionik biti ispravno pripremljen za sudjelovanje u eksperimentu. Fotografije s mjerenja prikazane su na slici 4.

## 5. Rezultati mjerenja

### 5. Measurement results

Ispitanici koji su sudjelovati u pilot-istraživanju označeni su kao Ispitanik 1 i Ispitanik 2. Oznake L i D označuju na kojoj ruci se nalazi pametni sat ili NeXus-10, tj. lijevo ili desno. Nakon mjerenja odredila su se mjere centralne tendencije

- aritmetička sredina dobivenih rezultata i standardna devijacija (std), tj. odstupanje pojedinih rezultata od njihove aritmetičke sredine. Mobilna aplikacija radi tako da 10 puta mjeri srčani ritam u razmacima od nekoliko sekundi te na kraju izračuna konačnu brojku kao prosjek dobivenih vrijednosti. Implementacija mjerenja srčanog ritma u Android Wear operacijskom sustavu je nedeterministička u vremenu, odnosno nije moguće unaprijed precizno odrediti kad će grupa mjerenja završiti. Pojedinačna mjerenja će se razlikovati, te se upravo zato uzimala u obzir isključivo srednja vrijednost niza mjerenja. Istodobno dok se provodilo mjerenje pomoću pametnog sata, na uređaju NeXus-10 se također gledao prosjek otkucaja u istom vremenskom intervalu koji se mjerio na satu. Također je izračunata apsolutna razlika srčanog ritma dobivenog pametnim satom i Nexus-10 uređajem za svako mjerenje. Dobiveni podaci su prikazani u sljedećim tablicama.

**Tablica 2:** Ispitanik 1, LG G Watch R, mirovanje, mjerenje 10 sekundi

**Table 2:** Subject 1, LG G Watch R, resting state, 10 seconds log

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 65	L – 64,35	0,65
2.	L – 59	L – 60,78	1,78
3.	L – 69	D – 69,68	0,68
4.	L – 72	D – 70,66	1,34
5.	D – 67	D – 65,79	1,21
6.	D – 64	D – 63,09	0,91
7.	D – 64	L – 66	2,00
8.	D – 67	L – 65,97	1,03
<b>Prosjek</b>	<b>65,875</b>	<b>65,79</b>	<b>1,2</b>
<b>Std</b>	<b>3,6207</b>	<b>3,0288</b>	<b>0,4585</b>

Iz tablice 2 vidljivi su rezultati koji nadilaze prvotnu pretpostavku pri usporednom mjerenju LG G Watch R satom i NeXus-10 uređajem. Prosječno odstupanje rezultata iznosilo je 1,20, što je kada se gleda ukupan broj otkucaja po minuti zanemariv postotak od otprilike 2%. S obzirom na dobivenu preciznost, uz gotovo zanemarivo odstupanje, već pri prvom mjerenju da se naslutiti potencijal korištenog pametnog sata pri biofeedback terapijama.

U sljedećem mjerenju sudjelovao je Ispitanik 2 s drugim modelom pametnog sata, Motorolom Moto360 Sport, dok su svi ostali uvjeti ostali isti.

**Tablica 3:** Ispitanik 2, Moto360 Sport, mirovanje, mjerenje 10 sekundi

**Table 3:** Subject 2, Moto360 Sport, resting state, 10 seconds log

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 86	L – 81,76	4,24
2.	L – 77	L – 80,30	3,30
3.	L – 88	D – 92,48	4,48
4.	L – 66	D – 85,57	19,57
5.	D – 70	D – 76,02	6,02
6.	D – 79	D – 82,83	3,83
7.	D – 91	L – 88,16	2,84
8.	D – 71	L – 76,07	5,07
<b>Prosjek</b>	<b>78,5</b>	<b>82,8988</b>	<b>6,1688</b>
<b>Std</b>	<b>8,5878</b>	<b>5,3458</b>	<b>5,1499</b>

**Tablica 4:** Ispitanik 2, Moto360 Sport, mirovanje, mjerenje 20 sekundi

**Table 4:** Subject 2, Moto360 Sport, resting state, 20 seconds log

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 72	L – 70,98	1,02
2.	L – 60	L – 68,60	8,60
3.	L – 70	L – 68,94	1,06
4.	L – 71	L – 68,30	2,70
5.	L – 73	D – 72,53	0,47
6.	L – 67	D – 70,52	3,52
7.	L – 68	D – 65,59	2,41
8.	L – 87	D – 87,28	0,28
9.	D – 67	D – 69,34	2,34
10.	D – 79	D – 82,83	3,83
11.	D – 66	D – 67,51	1,51
12.	D – 65	D – 66,14	1,14
13.	D – 69	L – 70,11	1,11
14.	D – 68	L – 67,15	0,85
15.	D – 75	L – 68,30	6,70
16.	D – 71	L – 76,07	5,07
<b>Prosjek</b>	<b>70,5</b>	<b>71,2619</b>	<b>2,635</b>
<b>Std</b>	<b>5,9896</b>	<b>5,8105</b>	<b>2,2892</b>

Mjerenje na drugom satu pokazalo je da se srednje odstupanje povećalo na skoro 8,5878%. Razlika između izmjerenih rezultata na satu i NeXus-10 uređaju višestruko se povećala. Uvidom u log zapise mjerenja uočena je jedna zanimljivost, u prvom mjerenju s LG G Watch R satom, nakon paljenja fotosenzora postoji period od 10-tak sekundi u kojem sat ne mjeri ništa. Kod Motorole mjerenje započinje iste ili iduće sekunde pri uključenju senzora. Možemo pretpostaviti da LG G Watch R sat prvih 10 sekundi kalibrira senzor i iz tog razloga daje preciznije rezultate pri istim uvjetima.

Nakon posljednjeg mjerenja i krenuvši s pretpostavkom da na Motoroli senzor kreće odmah s mjerenjem, povećan je broj mjerenja, s početnih 10 na 20 mjerenja. Nova pretpostavka bila je da će s dužim vremenom mjerenja i većim brojem izračunatih prosjeka preciznost biti veća. Zbog toga je i period mjerenja na NeXusu bio duži.

Iz prethodne tablice može se zaključiti da iako su se pojavile razlike pri mjerenju putem Motorole Moto360 Sport u odnosu na rezultate dobivene NeXus-10 uređajem veći broj mjerenja i duže vrijeme pozitivno je utjecalo na točnost mjerenja. Tako je odstupanje u ovom slučaju iznosilo približno 3,7%, što je dvostruko manje nego u mjerenju prije.

U idućim mjerenjima, smanjen je broj mjerenja na Motoroli Moto360 Sport kako bi oba sata mjerila isti broj. Također, nije se niti provjeravala svaka kombinacija ruku s obzirom da se htio provjeriti samo utjecaj ispitanika na rezultate. Prvo mjerenje provedeno je na Ispitaniku 1 koji je ovoga puta koristio Motorola sat, a drugo na Ispitaniku 2 koji je nosio LG G Watch R sat. Svi ostali uvjeti su ostali isti.

**Tablica 5:** Ispitanik 1, Moto360 Sport, mirovanje

**Table 5:** Subject 1, Moto360 Sport, resting state

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 58	L – 55,58	2,42
2.	L – 89	L – 54,54	34,46
3.	L – 61	D – 53,34	7,66
4.	L – 51	D – 50,63	0,37
<b>Prosjek</b>	<b>64,75</b>	<b>53,5225</b>	<b>11,2275</b>
<b>Std</b>	<b>14,4633</b>	<b>5,3458</b>	<b>13,6742</b>

**Tablica 6:** Ispitanik 2, LG G Watch R, mirovanje**Table 6:** Subject 2, LG G Watch R, resting state

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 74	L – 73,66	0,34
2.	L – 71	L – 72,32	1,32
3.	L – 75	D – 73,13	1,87
4.	L – 73	D – 74,21	1,21
<b>Prosjek</b>	<b>73,25</b>	<b>73,33</b>	<b>1,185</b>
<b>Std</b>	<b>1,4790</b>	<b>0,6970</b>	<b>0,5482</b>

Iz Tablica 5 i 6, čak i na malom uzorku mjerenja, vidljive su velike razlike u odstupanjima kod Motorole, što zapravo potvrđuje da je najvjerojatnije problem u senzoru i njegovom vremenu kalibriranja, odnosno nepreciznoj kalibraciji općenito. Time se može zaključiti i to da preciznost ovisi o vremenu i broju mjerenja koji se odrede u programskom kodu aplikacije. U ovom slučaju srednje odstupanje je bilo gotovo 20%. S obzirom da se pametni satovi vrlo često koriste i za bilježenje sportskih aktivnosti, provedena su i mjerenja nakon fizičke aktivnosti kako bi se i u tim slučajevima provjerila preciznost uređaja. Ispitanici su odradili jednaku razinu fizičke aktivnosti u kratkom periodu vremena te odmah po završetku spojili uređaje na ruku i započeli mjerenje. Iduće mjerenje je bilo nakon dvije minute mirovanja kada se srčani ritam obično vrati u početno stanje.

**Tablica 7:** Ispitanik 1, LG G Watch R, fizička aktivnost**Table 7:** Subject 1, LG G Watch R, physical activity

	Sat	NEXUS	Razlika
<b>Fizička aktivnost</b>	L – 81	L – 80,76	0,24
<b>Dvije minute nakon fizičke aktivnosti</b>	L – 56	L – 58,27	2,27
<b>Prosjek</b>			<b>1,255</b>
<b>Std</b>			<b>1,015</b>

**Tablica 8:** Ispitanik 1, Moto360 Sport, fizička aktivnost**Table 8:** Subject 1, Moto360 Sport, physical activity

	Sat	NEXUS	Razlika
<b>Fizička aktivnost</b>	L – 70	L – 92	22,00
<b>Dvije minute nakon fizičke aktivnosti</b>	L – 69	L – 68,59	0,41
<b>Prosjek</b>			<b>11,205</b>
<b>Std</b>			<b>10,795</b>

Rezultati u Tablicama 7 i 8 potvrđuju ranije zaključke, a to je da su mjerenja na LG G Watch R satu preciznija i bolje se slažu s onima izmjenjenima na profesionalnom uređaju. Završni niz mjerenja bavio se uspoređivanjem preciznosti između aplikacija za mjerenje srčanog ritma koje dolaze instalirane na satovima s onom posebno izrađenom za ovu priliku. Na LG G Watch R satu već je bila instalirana Google Fit aplikacija, dok je kod Motorole Moto360 Sport riječ o Moto Body aplikaciji. Mjerenja su provedena u stanju mirovanja te nakon aktivnosti i uspoređivana s NeXus-10 uređajem. U Tablici 9 prikazani su rezultati mjerenja kod Ispitanika 1 na obje aplikacije u stanju mirovanja te aktivnosti, a zatim kod Ispitanika 2 za iste uvjete.

**Tablica 9:** Ispitanik 1, Google Fit, LG G Watch R, mirovanje**Table 9:** Subject 1, Google Fit, LG G Watch R, resting state

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 61	L – 58,09	2,91
2.	L – 61	L – 62,33	1,33
3.	L – 61	D – 59,51	1,49
4.	L – 60	D – 58,33	1,67
<b>Prosjek</b>	<b>60,75</b>	<b>59,565</b>	<b>1,85</b>
<b>Std</b>	<b>0,433</b>	<b>1,6844</b>	<b>0,6237</b>

**Tablica 10:** Ispitanik 1, Moto Body, Moto360 Sport, mirovanje**Table 10:** Subject 1, Moto Body, Moto360 Sport, resting state

Br. mjerenja	Sat	Nexus	Razlika
1.	L – 79	L – 70,31	8,69
2.	L – 75	L – 71,92	3,08
3.	L – 70	D – 70,56	0,56
4.	L – 59	D – 63,11	4,11
<b>Prosjek</b>	<b>70,75</b>	<b>68,975</b>	<b>4,11</b>
<b>Std</b>	<b>7,4958</b>	<b>3,4411</b>	<b>2,9428</b>

**Tablica 11:** Ispitanik 1, Google Fit, LG G Watch R, fizička aktivnost**Table 11:** Subject 1, Google Fit, LG G Watch R, physical activity

	Sat	NEXUS	Razlika
<b>Fizička aktivnost</b>	L – 84	L – 82,89	1,11
<b>Dvije minute nakon fizičke aktivnosti</b>	L – 63	L – 62,12	0,88
<b>Prosjek</b>			<b>0,995</b>
<b>Std</b>			<b>0,115</b>

**Tablica 12:** Ispitanik 1, Moto Body, Moto360 Sport, fizička aktivnost

**Table 12:** Subject 1, Moto Body, Moto360 Sport, physical activity

	Sat	NEXUS	Razlika
<b>Fizička aktivnost</b>	L – 100	L – 97,38	2,62
<b>Dvije minute nakon fizičke aktivnosti</b>	L – 66	L – 58,10	7,90
<b>Prosjek</b>			<b>5,26</b>
<b>Std</b>			<b>2,64</b>

Nova mjerenja prikazana u Tablicama 9, 10, 11 i 12, i dodatna pod istim uvjetima s Motorolom360 Sport, zapravo prikazuju rezultate prema kojima Google Fit aplikacija na LG G Watch R satu ima veću preciznost i rezultati su sličniji onima izmjerenima na vlastitoj Android Wear aplikaciji od pametnog sata Motorola360 Sport. Time pretpostavka o preciznijem i kvalitetnijem senzoru u LG satu se dodatno potvrđuje.

## 6. Zaključak

### 6. Conclusion

Provedeni pilot-istraživanjem mjerenja srčanog ritma na pametnim satovima te usporedbom s profesionalnim biofeedback uređajem potvrđena je mogućnost primjene pametnih satova u biofeedback terapiji. Iako još uvijek u svojim razvojnim začetima, pametni satovi već sada pokazuju dovoljno visok stupanj tehničkog razvoja, preciznosti i mogućnosti svojih funkcija. S eksponencijalnim razvojem tehnologije zasigurno će se i njihova primjena podići na još višu razinu.

Ovdje opisanim ograničenim s dva sata nije dobivena potpuna predodžba o mogućnostima ovih tehnologija, ali rezultati su ipak indikativni i mogu se uzeti kao temelj za daljnja istraživanja. Za dobiven skup rezultata uvelike je zaslužna i posebno izrađena mobilna aplikacija za mjerenje srčanog ritma. Optimizacijom programskog koda aplikacije svedena su na minimum su sva ekstremna odstupanja koja su mogla pojaviti tijekom mjerenja. Rezultati mjerenja dobivenih pametnim satovima sukladni su profesionalnom i višestruko skupljem uređaju. U budućnosti potrebno je provesti mjerenja na većem broju ispitanika i koristeći veći broj pametnih uređaja.

Najvažnije prednosti pametnih satova su mobilnost, pristupačna cijena i jednostavnost korištenja. Korisnik nije ograničen samo na lokaciju laboratorija ili liječničke ustanove gdje se nalaze profesionalni uređaji. Pa ipak, bez poznavanja osnovnih principa biofeedbacka i bez stručnog vođenja profesionalnog biofeedback terapeuta potpuno samostalna primjena mjerenja srčanog ritma u terapiji putem pametnih telefona ipak nije moguća. U razgovoru s profesionalnim biofeedback terapeutima može se zaključiti da je potrebno pratiti cjelokupni razvoj različitih mobilnih uređaja, poput pametnih satova, putem kojih se mogu mjeriti fiziološke aktivnosti te tako terapiju biofeedbacka učiniti pristupačnijom širem krugu korisnika.

Zbog visokog postotka uspješnosti biofeedback terapije u posljednjim desetljećima razvoja, budućnost primjene usavršenih pametnih uređaja s fotopletizmografskim senzorima u neprekidnom mjerenju srčanog ritma je zajamčena. Možemo očekivati da će u bliskoj budućnosti svatko moći kontinuirano pratiti osnovne pokazatelje vlastitog zdravstvenog stanja, a daljnjim razvojem tehnologije povratne informacije o vlastitom fiziološkom stanju biti će još efikasnije nego do sada.

## Zahvala

### Acknowledgments

Autori se zahvaljuju zaposlenicima „Hrvatske udruge za biofeedback i primijenjenu psihofiziologiju“ na njihovima stručnim savjetima i nesebičnoj pomoći u organizaciji i provedbi mjerenja.

## 6. REFERENCE

### 6. REFERENCES

- [1] Brown, B. B. (1977). Stress and the art of biofeedback. Harper & Row.
- [2] Olton, D. S., & Noonberg, A. R. (1980). Biofeedback: Clinical applications in behavioral medicine. Prentice Hall.
- [3] Schwartz, M. S., & Andrasik, F. (Eds.). (2017). Biofeedback: A practitioner's guide. Guilford Publications.



- [4] Mind Media B.V. (2005). User Manual for the NeXus-10. Mind Media, Netherlands.
- [5] Ćosić, K., Popović, S., Horvat, M., Kukulja, D., Dropuljić, B., Kovač, B., & Fabek, I. (2012, January). Multimodal paradigm for mental readiness training and PTSD prevention. In NATO Advanced Study Institute on Invisible Wounds: New Tools to Enhance PTSD Diagnosis and Treatment.
- [6] Ćosić, K., Popović, S., Horvat, M., Kukulja, D., Dropuljić, B., Kovač, B., & Jakovljević, M. (2013). Computer-aided psychotherapy based on multimodal elicitation, estimation and regulation of emotion. *Psychiatria Danubina*, 25(3), 0-346.
- [7] M. Horvat, D. Kukulja, and D. Ivanec, "Comparing affective responses to standardized pictures and videos: A study report," In MIPRO, 2015 Proceedings of the 38th International Convention, IEEE, pp. 1394–1398, May 2015
- [8] Tripathi, O. N., Ravens, U., & Sanguinetti, M. C. (Eds.). (2011). *Heart Rate and Rhythm: Molecular Basis, Pharmacological Modulation and Clinical Implications*. Springer Science & Business Media.
- [9] MSD priručnik dijagnostike i terapije. (2017). Pulsna oksimetrija. <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-prirucnik/pulmologija/testovi-plucne-funkcije/pulsna-oksimetrija>, dohvaćeno 01.09.2017.
- [10] Nikolić, D., Zoltan, H., Popović, V., Pasternak, J., Kaćanski, M., & Basta, M. (2009). Digitalna fotopletizmografija u dijagnostici venske tromboze donjih ekstremiteta. *Medicina danas*, 8(4-6), 157-166.
- [11] Bogadi-Šare, A., & Zvalić, M. (1993). Digitalna fotopletizmografija u dijagnozi traumatske vazospastične bolesti. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 43(4), 303-310.

## AUTORI · AUTHORS



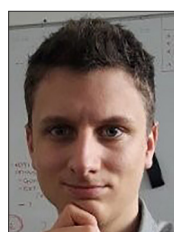
### Ivan Pejak

Završio je preddiplomski stručni studij informatike Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Trenutno je student specijalističkog diplomskog stručnog studija informatike, smjer računarstvo

na istom veleučilištu. Zaposlen je u tvrtki Ericsson d.d. kao stručnjak za razvoj softvera. Predsjednik je Studentskog zbora Tehničkog veleučilišta u Zagrebu.

### Korespondencija

ivan.pejak@tvz.hr



### Dominik Otočan

Završio je preddiplomski stručni studij informatike Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Trenutno je student specijalističkog diplomskog stručnog studija informatike, smjer računarstvo

na istom veleučilištu. Zaposlen je u tvrtki CROZ d.o.o. kao stručnjak za razvoj softvera. Bavi se razvojem mobilnih i web računalnih aplikacija.

### Korespondencija

dominik.otocan@tvz.hr



### Marko Horvat

Predavač i znanstveni suradnik na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu za znanstveno područje tehničkih znanosti, polje Računarstvo. Voditelj je izvanrednog preddiplomskog

Stručnog studija računarstva istog veleučilišta. Diplomirao je, magistrirao i doktorirao iz istog područja i polja na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 1999., 2007. odnosno 2013. godine. Objavio je više od 60 znanstvenih i stručnih radova. Područja od osobitog profesionalnog interesa uključuju strojno učenje, dohvaćanje informacija, afektivno računarstvo, interakcija čovjeka i računala, automatizirano rasuđivanje, formalno predstavljanje znanja i semantički web. Bavi se popularizacijom znanosti. Član je udruge IEEE.

### Korespondencija

marko.horvat@tvz.hr