

Fotopletizmogrāfijas ierīces izmantojamība biomedicīniskajā apģērbā

V. Mecnika, Riga Technical University, E.Kviesis, University of Latvia, Z.Macinkevics, University of Latvia, R. Erts, University of Latvia, I. Krievins, Riga Technical University,

Kopsavilkums. Sociālo un ekonomisko faktoru ietekmē kļūst aktuālāks jautājums par viedo tehnoloģiju integrācijas iespējām apģērbos un tekstilizstrādājumos. Par vienu no perspektīvākajiem virzieniem šajā nišā var uzskatīt biomedicīnisko apģērbu izstrādi. Apģērbu ar fizioloģisko parametru telemonitoringa iespējām var būt plaši pielietoti veselības aprūpes sfērā atkarībā no biomedicīniskā tekstilizstrādājuma īpatnībām un tehnoloģiskām iespējām. To pielietojamība var būt it sevišķi lietderīga pacientiem ar kardiovaskulārās sistēmas traucējumiem profilaktiskās uzraudzības nolūkos, rehabilitācijas laikā un klīniskajā praksē, piemēram, kā palīgdiagnostikas ierīce. Esošo biomedicīnisko apģērbu izstrādē pārsvarā uzmanība ir vērsta sirdsdarbības parametru reģistrācijai un analīzei ar elektrokardiogrāfijas (EKG) metodes palīdzību, un ir vairākas veiksmīgas izstrādnes ar apģērbā integrētajiem EKG elektrodiem. Par citu perspektīvu metodi reģistrēto datu informativitātes ziņā var izskatīt fotopletizmogrāfiju (PPG). Tā ir samērā vienkārša un relatīvi pieejama sirds un asinsrites sistēmas parametru reģistrācija.

Atslēgas vārdi: biomedicīniskais apģērbs, fizioloģiskie parametri, telemonitorings, fotopletizmogrāfija, PPG sensors, sirdsdarbības frekvence, sirdsdarbības cikla garums.

I. IEVADS

Apģērbu un modes industrija ir viena no lielākajām patērētāju preču kategorijām globālajā tirgū [1]. Nepieciešamību pēc inovācijām apģērbu un tekstilindustrijā nosaka ekonomiskā situācija, sociālās tendences un demogrāfiskā situācija [2], kas izpaužas kā liela konkurence apģērbu un modes tirgū, jaunas sabiedrības prasības apģērbiem un tekstilizstrādājumiem, proti, papildus īpašības, specifisks dizains, intereses palielināšanās pēc veselības stāvokļa fizioloģisko parametru paškontroles, kā arī Eiropas iedzīvotāju vecākās paaudzes īpatsvara pieaugums [3, 4]. Jaunās tehnoloģiskās iespējas (piemēram, elektronisko komponentu gabarītu samazināšana, nanotehnoloģiju attīstība utt.) un augstāk minētie faktori stimulē viedo tekstilizstrādājumu attīstību.

Pašreiz viedo tekstilizstrādājumu attīstības virzienā strādā gan valsts iestādes, tajā skaitā augstākās izglītības iestādes, gan vairāki ietekmīgie elektronikas tehnoloģiju zīmoli („Nokia”, „Philips”, „Ericsson”, „Pioneer Corporation”) un apģērbu zīmoli („Adidas”, „Nike” un citi).

Pēc funkcionālās pielietojuma viedapģērbu un valkājamo elektronikas segmentu nosacīti var iedalīt trīs grupās: māksla, augstākā mode un *prêt-a-porter*¹ (piemēram, gaismas diožu kleitas); brīvais laiks un sports (piemēram, jakas ar integrētiem mūzikas atskaņotājiem un sporta T-krekli ar sirds frekvences

monitoringa iespēju); veselības aprūpe un medicīna (apģērbu ar fizioloģisko parametru telemonitoringa iespējām) [4].

No praktiskās pielietojamības viedokļa par vienu no perspektīvākajiem virzieniem šajā sfērā var uzskatīt viedapģērbus un tekstilizstrādājumus fizioloģisko parametru telemonitoringam, kuru potenciālais pielietojums ir galveno fizioloģisko parametru attālināta reģistrācija dzīvei bīstamos apstākļos (glābšanas dienestu darbinieki, ugunsdzēsēji, karavīri, ekstrēmā sporta cienītāji utt.) un medicīniskajos nolūkos (rehabilitācija, palīgdiagnostika, veselības paškontrolē utt.) [5].

Sabiedrībā arvien aktuālākas kļūst veselības aprūpes problēmas, it sevišķi kardiovaskulārās slimības, par ko liecina augstie mirstības rādītāji [6], ka arī pieaug pieprasījums pēc neinvazīvām telemonitoringa metodēm, kas pamato biomedicīnisko apģērbu izstrādes aktualitāti.

No komerciālā viedokļa perspektīvākais virziens ir kardiovaskulārās un nervu sistēmas telemonitorings, kas ir saistīts ar sirds un asinsrites saslimšanu lielu procentu un augstiem mirstības un invaliditātes rādītājiem [7]. Pagaidām šādi biomedicīniskie apģērbu atrodas pārsvarā zinātniski-pētniecisko izstrādņu līmenī, bet pastāv arī dažas komerciāli pieejamās izstrādnes. Tomēr uz doto brīdi tikai vienu biomedicīnisko apģērbu „LifeShirt®” Eiropas Medicīnas Aģentūra² un FDA³ apstiprināja kā medicīnisko precī; un tikai nesen izstrādne „VitalJacket®” tika sertificēta atbilstoši medicīnisko iekārtu standartiem ISO9001 un ISO13485 [17] (tabula 1). Galvenie uzdevumi šādās izstrādēs ir kvalitatīvo signālu iegūšana, automātiskā datu analīze, apģērba ergonomiskums un kopšanas iespējas [8].

1. TABULA

BIOMEDICĪNISKO APĢĒBU ZINĀTNISKI-PĒTNIECISKO UN KOMERCIĀLI PIEEJAMO IZSTRĀDŅU FIZIOLOĢISKO PARAMETRU TELEMONITORINGA IESPĒJAS

Nosaukums	Fizioloģiskie parametri un metodes
<i>Wealthy</i>	EKG, EMG, elpošanas biežums, ķermeņa temperatūra
<i>MyHeart</i>	EKG, elpošanas biežums, ķermeņa temperatūra, kustību ātrums, noietā distance un ķermeņa pozīcija
<i>Biotex</i>	Elpošanas frekvence, Cl ⁻ , Na ⁺ un K ⁺ jonu saturs un pH līmenis sviedros

² EMEA (European Medicine Agency) (*angļu val.*)

³ FDA (The American Food and Drug Administration agency) (*angļu val.*)-„Amerikas Pārtikas un Medikamentu Administratīva aģentūra”

¹ „Gatavs valkāšanai” (*franču val.*)

Mermoth	EKG, elpošanas biežums, ķermeņa temperatūra, kustību aktivitātes un stāvokļa kontrole
Sensave	EKG, oksigenācijas pakāpe, arteriālais spiediens
VitalJacket®	EKG, elpošanas biežums
SmartLife®	EKG, elpošanas biežums
LifeShirt®	Arteriālais spiediens, oksigenācijas pakāpe, EKG un EMG, ķermeņa temperatūra, kāju kustību periodiskums

Ar biomedicīnisko apģērbu palīdzību jau tagad iespējams iegūt datus par kardiovaskulāro, respiratoro un balsta-kustību sistēmu, kā arī tiek veikti pētījumi integrējamo imūnsensoru izstrādē. Pārsvārā esošās zinātniski-pētnieciskās un komerciāli pieejamās izstrādnes uzmanība ir vērsta uz sirdsdarbības parametru reģistrāciju ar EKG metodi.

Kā alternatīvu, perspektīvu un relatīvi ekonomiski izdevīgu metodi datu iegūšanai par kardiovaskulārās sistēmas parametru stāvokli var uzskatīt fotopletizmogrāfiju (PPG).

II. METODES UN MATERIĀLI

A. Fotopletizmogrāfijas metode

Fotopletizmogrāfija (PPG) ir asins tilpuma mērīšanas metode, kas balstās uz pētāmo audu (orgāna) optiskā blīvuma reģistrācijas izmantošanu. Pētāmo audu apgabalu caurstaro ar infrasarkanā gaismu, kura izkliet vai atstarojas, atkarībā no raidītāja un uztvērēja izvietojuma. Audu atstarotās vai izkliedētās gaismas intensitāte ir atkarīga no asiņu daudzuma apstarotajos audos [9].

PPG signāls sastāv no ātri mainīgās AC maiņkomponentes, kas ir raksturīga sirds injekciju radītajām asinsvadu apjoma izmaiņām un kuras parametri korelē ar artēriju elasticitātes dinamiku, un lēni mainīgās DC pamatkomponentes, ko veido lēni mainīgie fizioloģiskie procesi: elpošana, simpātiskās nervu sistēmas darbība un termoregulācija. Fizioloģisko procesu analīzē var izmantot signāla abas komponentes. Neskatoties uz PPG signāla neviennozīmīgo skaidrojumu, metode sniedz svarīgu informāciju un dod iespēju izvērtēt kardiovaskulārās sistēmas procesu norisi un iespējamo disfunkciju esamību [10].

PPG signāla analīzi veido kvalitatīvie un kvantitatīvie kritēriji, proti, attiecīgi signāla formas un aprēķināto parametru (t.i., pulsa viļņa garums, pulsa viļņa aizkaves laiks, dikrotiskā viļņa indekss, sirds cikla diastoliskās fāzes ilgums u.c.) analīze, kas papildina viens otru [11].

PPG plaši pielieto klīniskajā praksē, tostarp klīniskajam fizioloģisko parametru monitoringam (oksigenācijas pakāpe, sirdsdarbības frekvence, elpošanas ritms utt.) un asinsvadu stāvokļa izvērtēšanai (artēriju slimības, vēnu stāvokļa izvērtēšana, epitēlija disfunkcijas, kardiovaskulārās sistēmas vazospastiskās reakcijas (stāvoklis), piemēram, Reino fenomens, utt.) [12].

Pastāv divas PPG signāla reģistrācijas metodes: absorbcijas, ko plaši pielieto komerciālajās medicīniskajās PPG ierīcēs, un remisijas [13], kas savukārt varētu būt vairāk piemērota

integrācijai apģērbā; tā tika izmantota izstrādātā un aprobētā biomedicīniskā tekstilizstrādājuma prototipā.

B. Mazgabarīta bezvadu fotopletizmogrāfijas maketierīce PPG signāla reģistrācijai un pārraidei

Potenciālā biomedicīniskā izstrādājuma veidu, tehnoloģisko risinājumu un piemērotāko materiālu izvēli nosaka PPG signāla reģistrācijas īpatnības, proti, pulsa noteikšanas vietas un nepieciešamā spiediena spēks optiskā sensora kontaktam ar cilvēka ķermeni precīzākā signāla iegūšanai.

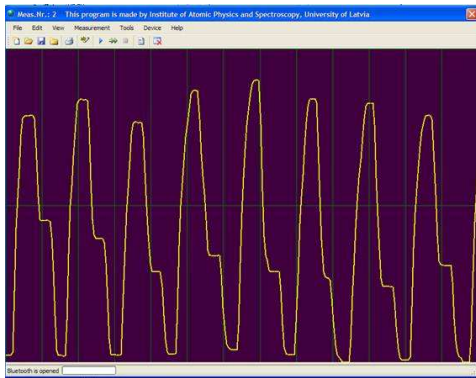
Tika izstrādāts un aprobēts biomedicīniskā tekstilizstrādājuma prototips – pieres apsējs, kas reģistrē PPG signālu no virspusējās deniņu artērijas.

Kā pirmā tika izveidota mazgabarīta (21x112 mm) bezvadu PPG maketierīce (att.1), kas ir piemērota integrācijai plānotajā tekstilizstrādājumā. Ierīce sastāv no 3 būtiskām daļām (sensors, elektronikas plate un akumulators). PPG sensors izgatavots apla formā ar diametru 1 cm un uzmontēts uz atsevišķas elektronikas platītes. Tas sastāv no vienas infrasarkanās starojošās diodes un uztverošās diodes. Būtiski ir tas, ka starojošās diodes starojuma jauda ir elektroniski regulējama un tiek stabilizēta ar ierīcē iebūvētu strāvas stabilizatoru, kas nodrošina stabilus un precīzus mērījumus visā akumulatora izlādes diapazonā (no 4,2V līdz 3,7V). Diodes starojuma intensitāte nemazinās, akumulatoram izlādējoties [14]. Maketierīces laika izšķirtspēja ir 1 ms, jo mērījumu frekvence ir 1 KHz.



1. att. Izstrādātajā prototipā integrētā mazgabarīta bezvadu PPG maketierīce

Maketierīcei ir iebūvēts Li-ion akumulators, kas nodrošina ~5 h nepārtrauktu darbību (laiks var mainīties no uzstādītajiem režīmiem), integrēta akumulatora uzlādes shēma, Bluetooth raidītāj-uztvērējmodulis, kas darbojas 2,4 GHz frekvencē, MiniUSB kontaktligzda, kas ļauj pievienot akumulatora uzlādes ierīci un nodrošināt savienojumu ar sistēmas programmatūru, divas gaismas diodes, kas vienkāršā, bet uzskatāmā veidā parāda iekārtas aktuālos darbības režīmus (aktīva darbība – datu pārraide, akumulatora uzlādes stāvokli un lādēšanas režīmu), integrēta spiedpoga, kas nodrošina maketierīces ieslēgšanu un izslēgšanu, kā arī darbības parametru uzstādīšanu (digitālais filtrs). PPG signāla reģistrāciju nodrošina speciāli izstrādāta programmatūra (2.att.).



2.att. Programmatūras ekrāns

C. Optiskā sensora integrācija tekstildrānā

Galvenais uzdevums paša tekstilizstrādājuma izstrādē bija tehnoloģiskā risinājuma izvēle optiskā sensora integrācijai. Maketierīces sensors tika integrēts tekstildrānā ar 300 μm bieža silikona pārklājuma palīdzību, kas gan nodrošina sensora savienojumu ar audumu, gan pasargā to no ķermeņa izdalītā mitruma (sviedriem) un iespējamiem mehāniskiem bojājumiem [15].

Sākotnēji sensora virsma tika pārklāta ar izolācijas laku „KO-916 A”, lai pasargātu sensora elektroniskos elementus no akrila un silikona masu iespējamās erozijas iedarbības. Sensora integrācijai tekstildrānā (viskoze 94%, elastāns 6%) pirmajā mēģinājumā tika izmantota silikona līme „Elastosil E-43” (drānas fragmenta kreisās puses apstrādei) un formveidošanas akrila masa „Lukas 2267 Crystal Gel” (sensora korpusa izveidošanai, integrācijai un savienošanai ar drānas kārtu). Prototipa izstrādes otrajā mēģinājumā tika izmantota tikai aukstās sacietēšanas formveidošanas silikona gumija „Lassil-S”. Laboratorijas apstākļos tika aprobēts pieres apsēja otrais prototips sakarā ar pirmā prototipa tehniskā izpildījuma nepilnībām (akrila masa nenodrošināja pietiekamu adhēziju ar drānu, lai saglabātu pārklājuma homogēno struktūru prototipa ekspluatācijas laikā). Zemāk tiek aprakstīta otrā prototipa izgatavošanas secība un īpatnības.

Auduma fragments 15x15 mm laukumā no abām pusēm tika pārklāts ar formveidošanas silikona gumiju (katra slāņa biezums 300 μm). Pēc pārklājumu sacietēšanas (40 min) ar skalpeli tika izgriezts četrstūra formas caurums 6x9 mm sensora integrācijai audumā. Sensoram tika izveidots pārklājums 9x11 mm no labās puses un 20x24 mm no kreisās puses (3. att.).



3.att. Tekstildrānā integrēts optiskais sensors.

Pieres apsēja prototipam tika izveidota velcro aizdare, lai panāktu MiniUSB kontaktligzdas pieejamību. Prototipa iestrādātās ierīces ieslēgšanai un izslēgšanai uz apsēja labās puses tika iezīmēta ieslēgšanas-izslēgšanas pogas vieta.

D. Izstrādātā prototipa aprobācija laboratorijas apstākļos

Lai secinātu par izstrādātā prototipa mērījumu precizitāti, tika veiktas divas mērījumu sērijas laboratorijas apstākļos, kur reģistrētie signāli tika novērtēti pēc sirdsdarbības frekvences (HR) un pulsa perioda laika (RR periods). Pirmajā mērījumu sērijā tika vienlaicīgi reģistrēti EKG un PPG signāli ar kardiogrāfu un pieres apsēja prototipu tikai miera stāvoklī, savukārt otrajā mērījumu sērijā, kad tika veikti mērījumi vienlaicīgi ar finopresi un pieres apsēja prototipu, uzmanība tika pievērsta mērījumu rezultātiem kustību laikā.

Pirmajā mērījumu sērijā piedalījās 5 personas vecumā no 26 līdz 55 gadiem. Mērījumi tika veikti laboratorijas apstākļos, telpā ar vidējo temperatūru 22°C. Cilvēki pirms mērījuma veikšanas tika lūgti atpūsties 10 minūtes, lai stabilizētu kardiovaskulāro sistēmu. Izmeklējamajām personām vienlaicīgi tika reģistrēti PPG signāls no virspusējās deniņu artērijas un EKG signāls no impedances kardiogrāfa HIC 3000 (standartnovadījumi no labās, kreisās rokas un labās kājas) 40 sekunžu laikā miera stāvoklī sēdus. Nosacīta pieres apsēja prototipa darbības precizitāte izvērtēšana tika veikta pēc sirdsdarbības frekvences vidējām vērtībām.

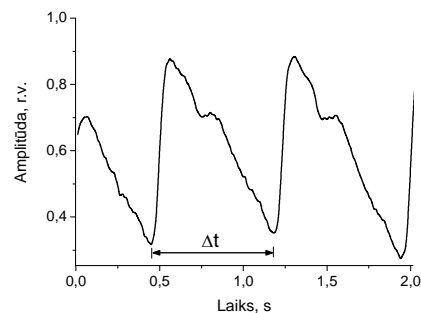
Kardiogrāfa programmatūra automātiski nodrošina EKG signāla interpretāciju, kur tiek norādītas sirdsdarbības frekvences vērtības. No reģistrētā PPG signāla tika aprēķināta sirdsdarbības frekvence, izmantojot signāla laika starpību starp divām blakus esošām minimālām vērtībām, proti, sirds cikla garuma vērtības (4.att.), izmantojot formulas (1, 2) [16]:

$$f = \frac{60}{\Delta t} \quad (1),$$

kur f - sirdsdarbības frekvences vērtība, min^{-1} ;
 Δt -sirds cikla garums, s.

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum f_i \quad (2),$$

kur \bar{f} - vidējā sirdsdarbības frekvences vērtība;
 f_i - sirdsdarbības frekvences i -tā vērtība;
 n - aprēķināto sirdsdarbības frekvenču vērtību skaits.



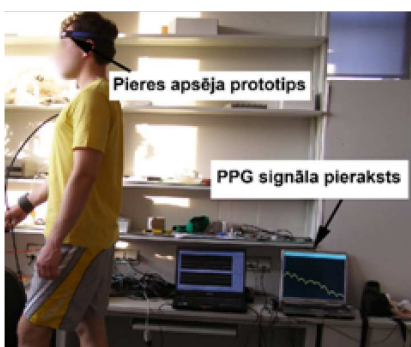
4.att. Sirdsdarbības frekvences aprēķināšana pēc PPG signāla parametriem.

Otrajā mērījumu sērijā pieres apsēja prototips tika pārbaudīts divos dažādos protokolos: izmeklējamai personai atrodoties miera stāvoklī un izmeklējamai personai ātri soļojot pa tredmilu (SportArt Fitness 6300HR, USA) ar ātrumu 6 km/st.

Iekārtas mērījumu novērtēšanai tika izmantota medicīniskā iekārta (Finameter Midi, FMS,Amsterdam), ar kuru var mērīt

gan arteriālo spiedienu, gan sirdsdarbības frekvenci, gan tai apgriezto lielumu – sirds cikla garumu.

Pētījumā izmeklējamai personai tika uzlikts finometrs un pieres apsēja prototips, pēc tā sinhroni uzsākts vienlaicīgs sirdsdarbības ritma pieraksts (5.att.). Prototipa aprobācijā piedalījās 5 brīvprātīgas personas vecumā no 20 līdz 25 gadiem, bez zināmiem sirds asinsrites sistēmas traucējumiem. Katras izmeklējamās personas pieraksti tika analizēti, izmantojot šim mērķim Matlab 5.3 (Matlab 5.3 Mathworks Inc, USA) vidē radītu skriptu. Skripta darbības princips balstās uz sirds ritma (pulsa perioda laiki vai sirdsdarbības frekvences vērtības) iegūšanu no PPG signāla formas, meklējot katra vienperioda PPG signāla sākumu (minimālo vērtību) un pretstatot iegūtajai vērtībai nolasījumu, ko automātiski nosaka Finameter programmatūra (BeatScope).

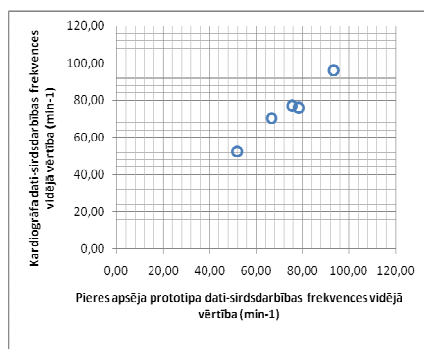


5. att. Mērījumu veikšana ar finpresi un pieres apsēja prototipu soļojot pa tredmilu

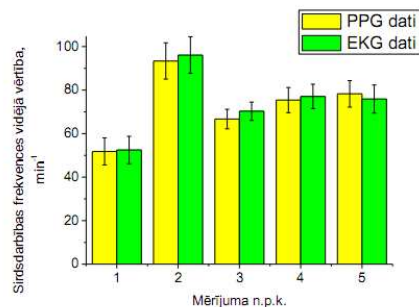
III. REZULTĀTI

Pirmās mērījumu sērijas iegūto datu korelācijas analīze uzrādīja augstu korelācijas koeficientu (parametriskās – Pīrsona korelācijas koeficients $r=0.99$) (6.att.).

Lai novērtētu mērījumu atšķirību, katrai izmeklējamai personai tika izrēķinātas starpības starp sirdsdarbības frekvences vidējām vērtībām noteiktām ar kardiogrāfu un pieres apsēja prototipu. Kopumā vidējā starpība starp iegūtajiem rezultātiem bija $2.22 \pm 0.79 \text{ min}^{-1}$ (7.att.).



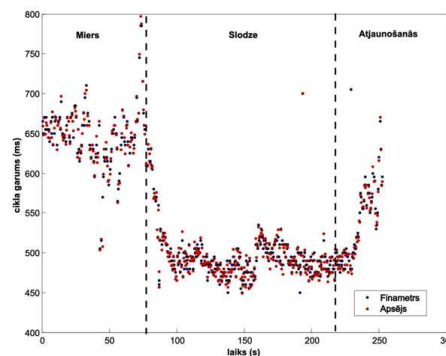
6.att. Sirdsdarbības frekvences vidējo vērtību salīdzinājums, reģistrējot ar impedances kardiogrāfu un pieres apsēja prototipu



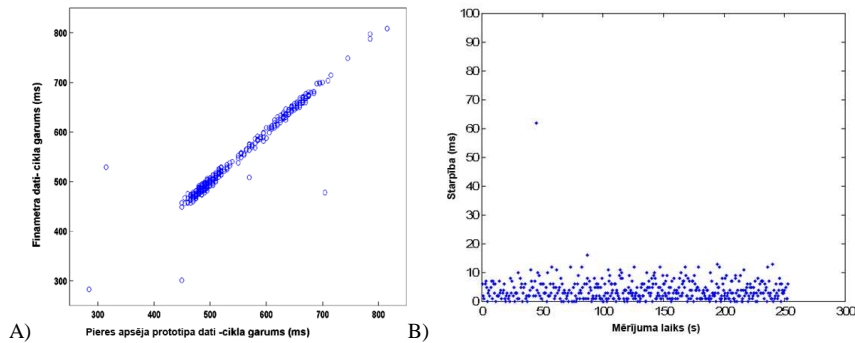
7 att. Sirdsdarbības frekvences vidējie lielumi ar mērījumu noviržu vērtībām

Otrajā mērījumu sērijā references iekārtas un prototipa reģistrēto mērījumu vērtību atšķirības izvērtēšanai tiek lietoti analogiski vienāda laika fragmenti no divām iekārtām, ar statistisko testu (*parametrisko t-test*; vai *neparametrisko Mann-Whitney Rank Sum Test*) palīdzību tiek salīdzinātas abu paraugkopu vidējās vērtības. Testos pieņemtais būtiskuma līmenis ir 5% ($p < 0.05$).

Šajā protokolā tika salīdzināti pulsa periodu garumi (kas aptuveni sakrīt ar EKG R-R intervāliem), reģistrējot signālu ar Finamtru (no pirksta) un apsēja prototipu (virs deniņu artērijas). Pieraksts tika uzsākts miera periodā, kam sekoja 2.5 min soļošana pa tredmilu, pēc kuras sekoja atjaunošanās periods, kurš pārgāja izejas stāvoklī-pēcatjaunošanās miera periodā. Analīzē tika iekļauts 252 s garš pieraksts, kurā tika identificēti 469 sirds cikli un tiem noteikts garums (ms). Abu iekārtu reģistrētās sirds ciklu garumu paraugkopas neatbilda Gausa sadalījumam (tika pārbaudīti ar Kolmogorova-Smirnova testu, $K-S \text{ Dist.} = 0.239, P < 0.001, \text{Failed}$; $K-S \text{ Dist.} = 0.220, P < 0.001, \text{Failed}$), tādēļ turpmākajā analīzē tika lietotas neparametriskās metodes. Salīdzinot paraugkopu mediānas vērtības (*Mann-Whitney Rank Sum Test*), tās neuzrādīja būtisku atšķirību ($T = 221203.000, n(\text{small}) = 469, n(\text{big}) = 469, (P = 0.808)$). Korelāciju analīze uzrādīja augstu korelācijas koeficientu (*Spearman Rank Order Correlation* $r = 0.973; p < 0.001$) (8.att.). Lai novērtētu mērījumu atšķirību, tika izrēķināta starpība starp sirds cikla garumu vērtībām, noteiktām ar finpresu un pieres apsēja prototipu (9(A).att.), vidējā starpība starp iegūtajām vērtībām bija attiecīgi $5.2 \pm 16.1 \text{ ms}$ (mean \pm std) (9(B).att.).



8. att. Sirds cikla garuma dinamika izmeklējamām personām, ātri soļojot pa tredmilu



9.att. Sirds cikla garuma salīdzinājums, reģistrējot ar finapresi un pieres apsēja prototipu (A) un Sirds cikla laiku starpības dinamika, mērot ar finapresi un pieres apsēja prototipu (B)

IV. DISKUSIJA UN SECINĀJUMI

Biomedicīniskie apģērbi ir jauna potenciāli perspektīva niša, kurā pagaidām dominē zinātniski-pētnieciskās izstrādes, kuru pielietojums var būt gan individuālās veselības paškontroles nolūkos, gan klīniskajā praksē vairāku slimību grupu pacientiem, it sevišķi pacientiem ar sirds un asinsrites sistēmas traucējumiem. Pārsvārā biomedicīnisko apģērbu izstrādājumā, par kurām ir pieejami mērījumu novērtēšanas rezultāti, uzrāda augstu korelāciju koeficientu ar references iekārtām pie ilgstošā signāla pieraksta miera un fiziskās slodzes laikā (piemēram, „Wealthy” EKG un elpošanas frekvences precizitāte ir attiecīgi 18.2 ± 5.2 ms un 13.1 ± 1.9 ms [17], „MyHeart” mērījumu kopīgā kļūda ir mazākā par 5% utt.) [18]. Savukārt izmeklējamās personas aktīvas slodzes laikā (izmeklējamās personas svīšanas laikā), piemēram, viedapģērbs „Wealthy” uzrādīja augstāko mērījumu precizitāti nekā references iekārta (Vitalport III®), kas liecina par šādu valkājamo sistēmu izstrādes un pielietošanas lietderību.

Darba gaitā tika izveidots pieres apsēja prototips ar integrēto mazgabarieta bezvadu fotopletizmogāfisko maketierīci, kas reģistrē PPG signālu no virspusējās deniņu artērijas. Dotais prototips tika izstrādāts ar mērķi, lai izskatītu un pārbaudītu maketierīces optiskā sensora integrējamību tekstildrānā, kā arī apobēt tekstilizstrādājumā iestrādātās PPG maketierīces darbības precizitāti. No veiktās apobācijas rezultātiem, pamatojoties uz iegūto datu statistisko analīzi salīdzinājumā ar references iekārtu mērījumu vērtībām, var secināt par optiskā PPG sensora veiksmīgu integrējamību tekstildrānā.

Izstrādāto prototipu sarežģīti pilnvērtīgi salīdzināt ar citām biomedicīnisko apģērbu izstrādājumā atšķirīgo analizēto datu un dažādu nosacījumu dēļ apobācijas laikā. Noteikti, tādām izstrādājumā kā „LifeShirt®”, ko atzina ir augstāki rezultāti precizitātes novērtēšanā, piemēram, vidējā starpība fiziskās slodzes laikā ir -2 ± 11 ms pie nosacījuma, ka tika izmeklētas 15 personas, kas minās ar veloergometru 10 min laikā (references iekārta kardiogrāfs „Biopac”)[19], savukārt izstrādātā prototipa 2. mērījumu sērijā vidējā starpība starp iegūtajām vērtībām bija 5.2 ± 16.1 ms pie nosacījuma, ka izmeklējamās personas soļoja pa tredmilu 2.5 min laikā (references iekārta „Finameter Midi”, FMS, Amsterdam).

Šāds izstrādājums var būt pielietojams sporta fizioloģijā, stacionārā (piemēram, sirds ritma variabilitātes novērošanai)

un veselības paškontroles nolūkos. Tomēr potenciālai pielietojamībai ir nepieciešama: optiskā sensora un maketierīces elektroniskās plātes iestrādes tehnoloģiju pilnveidošana, PPG signāla reģistrācijas un analīzes programmno drošinājuma uzlabošana. Potenciālās izmantošanas iespēju un funkcionalitātes paplašināšanai par tālāku pētījumu virzienu var uzskatīt biomedicīniskā apģērba izstrādi ar vairākiem dažādiem integrētiem sensoriem.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Strategic Research Agenda of the European Technology Platform for the future of textiles and clothing. / Lutz Walter, Ralf Bauer, Rainer Gebhardt//The European Apparel and Textile Organization. - June, 2006. - 7 p.
- [2] Макасовский В.П. Географическая картина мира. / Москва: Дрофа, Кн.1, 2008. - 118-119 с.
- [3] Medicon 2004 Conference: Wearable Health System for Vital Signs Monitoring. Wealthy/ Internets. - http://www.wealthy-ist.com/uploads/paradisomedicon2004_fv_copy1.pdf
- [4] Lutz Walter. Research in Intelligent Biomedical Clothing vs. Realities in the European Textile Business// Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges.- Amsterdam: IOS Press, 2004. - 75-80 p.
- [5] Research and Development of Smart Wearable Health Applications: The Challenge Ahead// Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges.-Amsterdam: IOS Press, 2004-p. 155
- [6] Veselības ekonomikas centrs: Latvijas veselības aprūpes gada grāmata, 2008. Sabiedrības veselība/ Internets. - <http://www.vec.gov.lv/docs/new2009/2009.11.19-17.pdf>
- [7] Paolo Bonato. Advances in Wearable Technology and Applications in Physical Medicine and Rehabilitation// Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. - 2005. -Nr.2:2-1-4 p.
- [8] Paul Grossman. The LifeShirt: A Multi-Function Ambulatory System Monitoring Health, Disease, and Medical Intervention in the Real World// Wearable eHealth Systems for Personalised Health Management: State of the Art and Future Challenges.-Amsterdam: IOS Press, 2004- 133 p.
- [9] R. Ērts. Jaunas fotopletizmogāfiskās metodes un ierīces sirdsdarbības un asinsrites neinvazīvai kontrolei. Promocijas darbs, Latvijas Universitātes, Fizikas un matemātikas fakultāte, Atomfizikas un spektroskopijas institūts-2007- lpp. 13.-15., 34.-37
- [10] Лебедев П.А., Калакуцкий Л.И. Фотоплетизмография в оценке эластических свойств и реактивности периферических артерий// Регионарное кровообращение и микроциркуляция. -2004.-Nr.1-31 с
- [11] Е.Л. Малиновский. “Учебно-методическое пособие по использованию пальцевой фотоплетизмографии”// Медицинский научный и учебно - методический журнал.-2006-Nr.33
- [12] John Allen. Photoplethysmography and Its Application in Clinical Physiological Measurement. / Physiological Measurement. – Nr.28. - 2007. – 11 p.
- [13] О.Н.Павлова, А.Н. Павлов. Регистрация и предварительная обработка сигналов с помощью измерительного комплекса МР100. – Саратов: Научная книга, 2008. – 4 с.

[14] Wearable wireless photoplethysmography sensors. Janis Spigulis, Renars Erts, Vladimirs Nikiforovs and Edgars Kviessis-Kipge, Bio-optics and Fiber Optics Laboratory, Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia.

[15] Rakesh B. A Novel Intelligent Textile Technology Based On Silicon Flexible Skins// ScienceDirect. - 2008-Nr.143-169-174 p.

[16] J.P.S. Cunha, B.Cunha A.S. Pereira. Vital-Jacket®: A wearable wireless vital signs monitor for patients' mobility in cardiology and sports// *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2010 4th International Conference.*— March, 2010. - p.1-2.

[17] L Bourdon, S Coli, G Loriga. First Results with the Wealthy Garment ElectroCardiogram Monitoring System// *Computers in Cardiology.*- 2005.-Nr. 32-p.615–618.

[18] Rita Paradiso, Danilo De Rossi. Advances in textile technologies for unobtrusive monitoring of vital parameters and movements. Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference.- New York City, USA.-Aug 30-Sept 3, 2006.-p.392-395.

[19] Keri J.Heilman, Stephan W.Porges. Accuracy of LifeShirt® (Vivometrics) in Detection Of Cardiac Rythms// *Biological Psychology.* – July, 2007. – Nr.75 (3). – p.300-305.

Viktorija Mecnika, Mg.sc.ing. Master grade in clothing technology was conferred in June, 2010. Currently continues doctoral studies in Riga Technical university and volunteers in Latvia University “Biophotonic Research Group” project. The main field of research is development and improvement of biomedical garments for remote monitoring of physiological parameters.

Work experience in apparel and textile retailing for 4 years in the segment of High Street Fashion and luxury brands.

Edgars Kviessis, Mg.sc.phys. Master grade in physics was conferred in 2008, at present continues doctoral studies in Latvia University. The main fields of research are medicine physics, electronics, remote data transmission, development and manufacturing of electronic devices. Since 2005 has been working in LU Institute of Atomic Physics and Spectroscopy as an electronics engineer; develops and tests PPG devices for remote monitoring.

Administrator of a sub-activity in “Biophotonic Research Group” project.

Zbignevs Marcinkevics, Mg.biol. Master grade in biology was conferred in 2002. Since 2006-2009 PhD student, currently finishing thesis. Assistant in Department of Human and Animal Physiology. The leader of research group in ESF research project „Biophotonic Research Group”. Member of Latvian Society of Physiology. Trainings in Umea University (Sweden) and Bremen University (Germany).

Renars Erts, Dr.phys. PhD grade was conferred in Latvia University in 2007 for researching many-channel photoplethysmography. In 2000-2001 worked in LU Institute of Solid State Physics, since 2001-present the head researcher in LU Institute of Atomic Physics and Spectroscopy. Trainings in the U.S., Swedish and Israel universities.

Currently the head of ESF research project „Biophotonic Research Group”. Member of Latvia Physics Society, Scanbalt.

Ivars Krievins, Dr.sc.ing. After professional studies at the Leningrad Technological Institute for Textile and “Light” Industry (1969 - 1974) Designer and Technologist for Sewn Products Engineering; After doctoral studies at the Moscow Technological Institute of “Light” Industry (1980 - 1984) „Candidate of Technical Sciences” in the field of «Technology of Sewn Products (05.19.04)», later being equated to the scientific degree of Doctor of Engineering Sciences (Dr.sc.ing.) by the Resolution 1993-06-16 of the RTU Promotion Council P-11 in the field of «Technology of “Light” and Textile Industry Products» soon renamed for «Textile and Clothing Engineering».

Currently Associate Professor at the Riga Technical university (RTU), Institute of Textile Materials Technologies and Design, Department of Clothing and Textile Technologies, Āzenes 14, Riga, Latvia. Previously – jobs for the Department of “Light” Industry Machinery and Technology at the Riga Polytechnic Institute: (later Institute of Textile and Clothing Technology at the RTU).

Chairman of the Textile Terminology Commission at the Latvian Academy of Sciences; (1992 to present); Chairman of the Technical Committee for National Standardization Body LVS/STK/41 “Textiles and Leather” (1997 - 2002); Textile Expert of the Ministry of Economics for the EU Textile Labelling Committee (2000 to present); Membership at *The International Textile Institute* (1993 - 2000); Member of the RTU Promotion Council RTU-P-11 (1998-2005); Membership at the RTU Engineering Faculty Council (1992 - 2002)

Viktorija Mecnika, Edgars Kviessis, Zbignevs Marcinkevics, Renars Erts, Ivars Krievins. Usability of a Photoplethysmography Device for a Biomedical Garment.

Technical developments in textiles and electronics are providing the opportunity for the garments with improved functionality such as remote monitoring of physiological parameters. Developments of biomedical garments are already being in use for patient health control. In recent studies examination of cardiovascular system is performed with conventional methods; systemic hemodynamic parameters are acquired by electrophysiological methods such as Electrocardiography (ECG) and Impedance cardiography (ICG). Another convenient and potential method for assessment of cardiovascular system is photoplethysmography (PPG). The PPG absorption mode is the only one applied in commercial medical devices, while remission mode offers a wider range of application for cardiovascular monitoring and is more appropriate for integration into textiles. A prototype (head bandage) of a biomedical garment for remote monitoring of cardiac parameters (e.g. heart rate, R-R intervals) with an integrated wearable PPG device has been developed and tested. The aim of this study was to assess usability of the PPG device for a biomedical garment, and to test reliability of the heart rate data registered by the prototype and commercial medical device as a reference.

Виктория Мечника, Эдгар Квиессис, Збигнев Марцинкевич, Ренарс Эртс, Ивар Криевиньш. Применимость фотоплетизмографического устройства в биомедицинском швейном изделии.

Одежда с возможностями телемониторинга физиологических параметров находит всё более широкое применение в сфере здравоохранения. Такая одежда наиболее полезна может быть для пациентов с нарушениями деятельности сердечно-сосудистой системы в целях профилактического контроля, во время реабилитации, а также в клинической практике, например, как предмет вспомогательной диагностики. В настоящих разработках концентрируются на регистрации и анализе кардиоваскулярных параметров при помощи электрокардиографии (ЭКГ). Другим перспективным сравнительно простым методом исследования сердечно-сосудистой системы является фотоплетизмография (ФПГ). В коммерческих ФПГ-приборах применяется метод абсорбции, в свою очередь, рассматривая потенциальные возможности интеграции ФПГ-сенсора в швейное изделие, более подходящим в данном случае является метод ремиссии. Был разработан и апробирован прототип швейного изделия (головная повязка) с интегрированным ФПГ-прибором. Главная цель данной работы заключалась в оценке применимости устройства для биомедицинского швейного изделия и анализе регистрируемых прототипом данных, сравнивая их с показаниями коммерческих медицинских референтных приборов по кардиоваскулярным параметрам (частота сердечбиения и долгота сердечного цикла). Измерения были проведены в состоянии покоя и физической нагрузки (движения) испытуемых.