

Debreceni Egyetem Informatika Kar
Információ Technológia Tanszék

**Stresszhelyzet okozta élettani változások követése kombinált
szenzoros pszichofiziológiai mérőrendszerrel**

TDK Dolgozat



Szerző:

Fintor Gellért László

Mérnökinformatikus szak, 3. év

Témavezetők:

Dr. Gilányi Attila László

egyetemi docens, IK

témavezető

Dr. Kósa Karolina

egyetemi tanár, ÁOK

társ-témavezető

Debrecen, 2024.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	4
Köszönetnyilvánítás	5
Bevezetés.....	6
1. A stressz	9
1.1. A stressz, mint általános probléma.....	9
1.2. A stressz objektív mérése	9
1.3. Holter monitorozás.....	11
2. Egy magyar fejlesztésű pszichofiziológiai rendszer (FIPOK)	13
2.1. A rendszer fejlesztésének rövid története	13
2.2. A rendszer működése.....	13
2.3. Alkalmazott szenzorok	14
2.4. A fejlesztés célja.....	15
3. Hagyományos módszer és új fejlesztés összehasonlítása	17
3.1. Rögzítési technológia	17
3.2. Adatfeldolgozás és elemzés	17
3.3. Felhasználói élmény és kezelhetőség	18
3.4. Eredmények megbízhatósága.....	18
3.5. Klinikai felhasználhatóság.....	18
4. Szensor és szoftver közötti kommunikáció és adatfeldolgozás	19
4.1. A Movesense Szensor és Whiteboard Kommunikáció	19
4.2. A BLE GATT kommunikáció jelentősége és működése	20
4.3. A Whiteboard API és a GATT-szolgáltatás integrációja.....	22
4.4. BLEAK.....	23
4.5. LSL (LabStreamingLayer).....	23
5. Kutatási protokoll.....	25
5.1. A kutatás során előállított stresszhelyzet leírása	25
5.2. A tesztelés résztvevői	25
5.3. A tesztelés menete	25
5.4. Egyéni azonosító és szenzorkapcsolat ellenőrzése	26
5.5. Eseményrögzítő rendszer.....	27
5.6. Kilépési folyamat	28

5.7. Adatfeldolgozás és értékelés.....	29
6. Eredmények.....	31
6.1. Esemény és élettani változás illeszkedésének elemzése	31
6.2. További fejlesztést igénylő problémák.....	34
6.3. Stresszhelyzet (esemény) és azáltal okozott élettani változások illesztőségének kutatási jelentősége	34
6.4. Hozzájárulása a tudományos kutatásnak az informatikatudomány területének	35
Összefoglalás	37
A kutatás fontosabb megállapításai	37
A kutatás előnyei és korlátai	37
Tanulságok	38
Jövőbeni tervek	39
Saját munka leírása	40
Függelék	36
Ábrajegyzék	48
Táblázatjegyzék	48
Irodalomjegyzék.....	49

Absztrakt

Modern korunk mindennapos jellemzője az egyénenként változó mértékű élettani terhelést jelentő akut stressz, amelyet rendszerint pulzusszám-növekedés kísér, objektíven jellemezve az élettani terhelést. A pulzusszám változása azt is mutatja, ha a stressz-szintet az egyén megfelelő módszerrel csökkenteni tudja. Pilóta vizsgálatunk célja volt tesztelni két új, hazai fejlesztésű informatikai szoftvert stresszhelyzet során, amelyek a stressz-szint változását, illetve aktuális történések követését célozták.

Stresszkezelési technikákat kreditkurzus keretében tanuló orvostanhallgatók szimulált nukleáris orvosdiagnosztikai vizsgálatban vettek részt. Ennek során mellkaspánton egycsatornás EKG szenzort viseltek, amelyet előzetesen Bluetooth-on keresztül illesztettük egy hazai fejlesztésű pszichofiziológiai mérőrendszer szoftveréhez. A másik új fejlesztésű szoftver lehetővé tette a vizsgálat alatti történések külső megfigyelő által végzett valós idejű, manuális rögzítését (eseménynapló). A vizsgálat után a tesztalanyok pulzusváltozásait egyénenként illesztettük a rögzített eseményekhez, amelyet az EKG szenzor adatainak és a mérés során felvett eseményeknek az időbélyegei segítségével tudtunk megtenni. Ezt követően elemeztük a vizsgálat során bekövetkezett események hatásait a pulzusszám változására.

Az eredmények alapján a női és férfi hallgatók közül az előbbieket kezdetben magasabb átlagos stressz-szint jellemezte a férfiakhoz képest, a vizsgálat során azonban légzéskontrollt használva sikerült a stressz-szintjüket csökkenteni. Az eredmények szerint egy jelentéktelennek tűnő esemény (pl. a vizsgálóágy helyzetének változása) is fokozhatja az élettani stressz mértékét.

A viselhető EKG szenzor adatainak mérőrendszerhez, illetve eseménynaplóhoz illesztése és rögzítése lehetővé teszi egyének stressz-szintjének objektív vizsgálatát és a tárolt adatok utólagos feldolgozását. Az eseménynapló manuális rögzítése pontatlanabb és nehezebb az EKG szenzor adatainak rögzítéséhez képest, de ez is előre lépésnek tartható, mivel ilyen jellegű eseménynaplózásra jelenleg nincs példa az orvosdiagnosztikában. Pilóta vizsgálatunk alapján érdemes lenne a műszeres orvosi vizsgálatok okozta stressz-terhelést a két szoftverrel nagyobb mintán is vizsgálni.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek és támogattak engem a TDK dolgozatom elkészítésében.

Először is szeretnék köszönetet mondani a Aviatronic Kft-nek, különösen Barna Péternek és Petró Bálintnak, akik a FIPOK rendszer fejlesztő cégként nagy segítséget nyújtottak a projekt megvalósításában és szakmai támogatásuk nélkül nem tudott volna megvalósulni a kutatás és ez a TDK dolgozat.

Köszönettel tartozom a Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar Magatartástudományi Intézetének, kiemelten Dr. Fűzi Mártának, valamint Dr. Kósa Karolinának, aki a TDK társ-témavezetőm volt, és értékes tanácsokkal és iránymutatással látott el. Segített az eredmények orvosi szempontból kielemezni és megérteni. Hálás vagyok, hogy részt vehettem a kutatásban és biztatásukra a TDK munka megírására.

Nagy hálával tartozom a Debreceni Egyetem Informatika Karáról Dr. Gilányi Attilának, a TDK témavezetőmnek, aki segített a dolgozat megírásában és strukturálásában.

Külön köszönet illeti Dr. Garai Ildikót és Dr. Barna Sándor Kristófot a ScanoMed Nukleáris Medicina Központokból, akik lehetővé tették a kutatás számára a nukleáris orvosdiagnosztikai szimulációk elvégzését és szakmai segítséget nyújtottak a szimulációk elvégzése során.

Végül, de nem utolsósorban szeretnék köszönetet mondani mindazoknak a kreditkurzus hallgatóknak, akik részt vettek a mérésekben és az eredményüket felhasználhattam a TDK dolgozatom során.

Mindezek a segítségek és támogatások nélkülözhetetlenek voltak a TDK dolgozatom sikeres elkészítésében, és hálás vagyok mindenki iránt, aki részt vett ebben a folyamatban.

Bevezetés

A modern életmód és a mindennapi kihívások által okozott stressz egyre növekvő problémát jelent az emberek számára. A stressz számos egészségügyi és pszichológiai problémát eredményezhet, beleértve a szív- és érrendszeri betegségeket, alvászavarokat, valamint az érzelmi és mentális instabilitást. A stressz hatása az egyének teljesítményére és jólétére is jelentős lehet, befolyásolva mindennapi döntéseiket és viselkedésüket. Emiatt kiemelkedő fontosságú az olyan módszerek és eszközök fejlesztése, amelyek lehetővé teszik a stressz megfelelő és pontos nyomon követését, valamint az arra adott egyéni válaszok értékelését.

A Debreceni Egyetem a közelmúltban egy olyan mérőrendszert (FIPOK) vásárolt, amely képes különféle pszichológiai tesztek képernyőre adaptált változatait futtatni úgy, hogy ezek végrehajtása közben a vizsgált személy EKG és EEG szenzorokat visel, amelyek a szív és az agy elektromos tevékenységeit és ezek változásait rögzítik és azt a rendszerbe továbbítják. Ennek révén a teszhelyzet okozta stressz mértéke az egyes feladatokhoz illesztett módon pontosan nyomonkövethető.

Ez a rendszer adta az ötletet ahhoz, hogy olyan hordozható rendszer kerüljön kifejlesztésre, amely lehetővé teszi egy ember által megélt különféle stresszhelyzetek valós idejű rögzítését, miközben a személy szív működését EKG szenzor rögzíti. Ez lehetővé teszi a stresszhelyzet és következményeinek illesztését és értékelését.

A FIPOK egy hazai fejlesztésű mérőrendszer, amely humánerőforrás kiválasztáshoz, alkalmasság vizsgálatokhoz, és pszichés állapotfelméréshez nyújt segítséget. Ehhez egy speciálisan e célra kifejlesztett szoftver nyújt segítséget, amellyel a megismeréssel kapcsolatos, úgynevezett kognitív működések vizsgálatához változatos időtartamú és megjelenítésű gamifikált (videójátékokhoz hasonló) teszteket lehet készíteni. Ezek közül egyet vagy többet, meghatározott protokoll szerint a vizsgált személy egy laptopon, képernyő előtt teljesíti, majd a rendszer ezt kiértékelve szolgáltat objektív mérési eredményeket a személy kognitív funkcióiról. Ezt szenzorok által rögzített élettani funkciókat jellemző adatokkal lehet kiegészíteni. Mindezek révén a rendszer a kognitív működések értékelését pontosabban és komplexebb módon végzi, mint a hagyományosan papír-ceruza segítségével felvett, önkítöltős tesztek.

Az Aviatronic Repüléstechnika Fejlesztő Kft. 2018-ben kezdte meg a fejlesztést kereskedelmi forgalomban lévő, modern szenzorok használatával egy könnyen kezelhető mérőrendszer létrehozására, amelynek első típusa 2019-re készült el. Ennek továbbfejlesztett változatát vásárolta meg a Debreceni Egyetem, amely 4, laptopra telepített mérőállomáson egyszerre négy

személy vizsgálatát teszi lehetővé. A mérőállomások egy koordinátor géphez kapcsolódnak, amelyen a mérőállomások és ezek szenzorainak állapota, a protokoll futása követhető, illetve a koordinátor laptop segítségével történik a mért adatok online feltöltése egy szerver adatbázisba.

A rendszer a szívritmus követésére a finn gyártmányú, mellkaspántra rögzíthető, viselhető „Movesense” EKG szenzort alkalmaz (gyártó: Movesense Ltd, Vantaa, Finnország; bővebb információért lásd Movesense – wireless wearable sensor. <https://www.movesense.com/>). A mellkaspántba integrált elektródák a bőrrel érintkezve egy elvezetési EKG jelet mérnek 125 Hz mintavételi frekvencián, amelyet a szenzor feldolgoz, és Bluetooth Low Energy csatornán továbbít egy, laptopon futó, e célra kifejlesztett szoftverbe. A szenzor méri a szívdobbanások közt eltelt időt, továbbá méri a szív elektromos működését jellemző hullámsorozatban megjelenő ún. R-hullámok közti időt is. A szenzor által rögzített jelekből lehetséges egyrészt az átlagos percenkénti pulzusszám mérése, másrészt az R-hullámok közt időből az ún. szívritmus-változékonyságot (heart rate variability, HRV) jellemző adatok kiszámítása is. A rendszer az agy elektromos tevékenységének követését is lehetővé teszi egy fejpántra rögzített, négy elvezetési EEG szenzor (Muse-S (Gen 2)) révén. (Részletesebb információért lásd Muse S (Gen 2), Muse <https://choosemuse.com/products/muse-s-gen-2-subscription/>.)

A kognitív és élettani funkciók mérését előzetesen megtervezett protokoll szerint kell végrehajtani. A protokollban kerülnek meghatározásra az egyes kognitív részfunkciók vizsgálatát szolgáló gamifikált tesztek, ezek sorrendje, időtartama, és az esetlegesen elvárt teljesítmény. Minden mérőállomáshoz külön szenzorkészlet tartozik.

A kutatásunk célja annak tesztelése volt, hogy akut stresszhelyzet okozta változásokat nyomon kövessünk a FIPOK rendszerhez illesztett egycsatornás EKG szenzorral, úgy, hogy közben az akut stresszhelyzet mibenlétét, jellegét is rögzítsük. Ehhez szükség volt egy olyan új protokoll (eseménynaplózás) létrehozására, amely lehetővé tette különféle események szöveges rögzítését azon a laptopon, amely az EKG szenzor által közvetített adatokat rögzítette. Az eseménynaplózást lehetővé tevő új protokollt az Aviatronic Kft. a jelen dolgozatban ismertetett kutatáshoz hozta létre.

A kutatás keretében az volt a feladatom, hogy az eseménynaplózó protokollt teszteljem különféle, akut stresszt okozó helyzetekben, amelyekben egyetemi hallgatók vettek részt. Az ő feladatuk az volt, hogy a stressz okozta élettani hatásokat próbálják meg csökkenteni előzetesen megtanult stresszkezelési technikákkal. A stresszhelyzetnek kitett hallgatót vagy én vagy egy másik hallgató naplózta, utóbbi esetben én felügyeltem az eseménynaplózást.

Az előzetes feltételezés szerint az eseménynaplózó külső megfigyelő pontosan fogja tudni követni és rögzíteni a tesztalanyt érő stresszhelyzeteket, és a stressz-provokáló esemény utólagos elemzésnél jól fog illeszkedni a tesztalany stressz-szintjét jelző élettani változáshoz.

További hipotézisünk szerint az egyes konkrét események hatására a tesztalany stressz-szintje jelentős mértékben változni fog, ami illeszthető lesz az eseménynaplóban rögzített történésekhez.

A tesztelés során a két (eseménynaplót és szívritmus-változást követő) szoftverrel végzett mérések és adatelemzések révén azonosítani fogjuk a stresszhelyzeteket és az azokra adott reakciókat, és ezzel hozzájárulunk a stresszkezelés és a pszichofiziológiai monitorozás területén végzett kutatásokhoz.

1. A stressz

1.1. A stressz, mint általános probléma

A stressz biológiai értelemben a testi és/vagy lelki feszültség állapota, amely úgy jön létre, hogy különféle hatások az egyén egyensúlyi vagy nyugalmi állapotát megváltoztatják.

A stresszt elsőként leíró Selye János az 1950-es években a stresszt röviden úgy jellemezte, mint a test elhasználódásának, kopásának a mértékét („rate of wear and tear on the body”) (vö. [25], [26], továbbá [20]). A stresszhatás lehet heveny (akut), amely rövid ideig tart, mint például egy vizsgahelyzet, és a test erőforrásainak mozgósításával segíti az adott helyzethez való alkalmazkodást. Az akut stresszhatás elmúltával a feszültség elmúlik, a szervezet egyensúlya helyreáll. Az idült (krónikus) stressz hosszú ideig tart, mint például pénzügyi problémák vagy rossz párkapcsolat. Emiatt a szervezet folyamatosan feszült állapotban van, amelynek következtében fokozódik különféle betegségek kialakulásának kockázata. Ezek közül kiemelendő a magasvérnyomás, szívbetegség, és elhízás.

A stressz a modern társadalmakban különösen jelentős az életritmus felgyorsulása és az egyéneket érő hatások komplexitásának fokozódása miatt. A stresszhelyzet pszichológiai következményeit kérdőívekkel lehet mérni, amelyekben a vizsgált személyek maguk értékelik a lelki feszültség mértékét és jellegét. A stresszhelyzet élettani következményei biomarkerekkel, mint a szív működés és a légzés követésével valós időben jól mérhető, de nincs általánosan elterjedt megoldás arra, hogy magát a stresszhelyzetet is rögzíteni és azt az élettani hatásokhoz illeszteni lehessen [7] a témát kifejtik az alábbi cikkek: [8], [9], [11], [18], [19], [24], továbbá Stress and your health. Medline Plus. National Library of Medicine, USA. <https://medlineplus.gov/ency/article/003211.htm>.

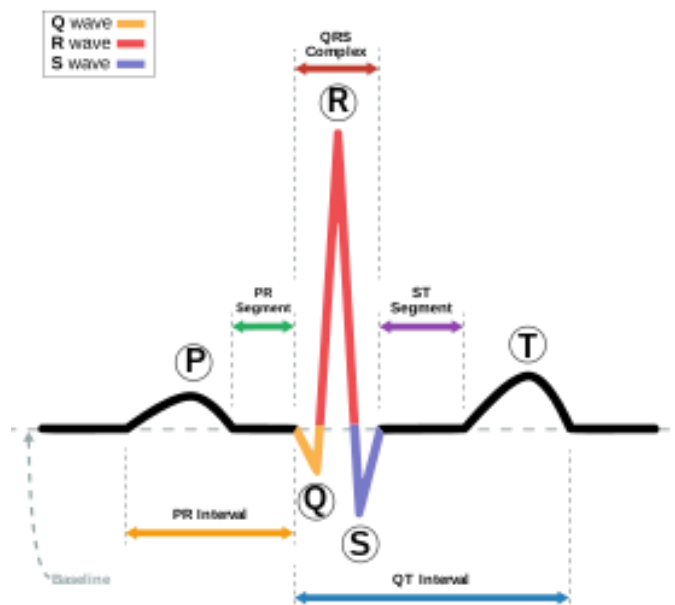
1.2. A stressz objektív mérése

A fentebb írottak értelmében minden olyan élettani vagy lelki hatás stresszválaszt okoz, amely a szervezet egyensúlyi állapotát megzavarja, és alkalmazkodást igényel. A stresszválasz nem specifikus abban az értelemben, hogy a legkülönbözőbb stresszhatások ugyanolyan idegi és hormonális hatásokat váltanak ki (bár ezek mértéke a stresszhatás függvényében változhat). A stresszhatás következtében aktiválódik a szimpatikus idegrendszer, a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely és az immunrendszer is, egymással bonyolult kölcsönhatásban. Ez az aktiválódás azt a célt szolgálja, hogy a szervezet felkészüljön a stresszhatás okozta alkalmazkodásra, pl. futásra vagy egyéb mozgásos viselkedésre készen álljon

(vö. [4]). A stresszválasz egyik fontos jellemzője a szívritmus és a légzés felgyorsulása, amely biztosítja a fokozódó oxigén- és tápanyagellátást.

A szívritmus és a szív működést jellemző elektromos hullámok nyugalomban jól nyomonkövethetőek elektrokardiográfiával (EKG), amely a mellkas és a végtagok meghatározott pontjain a bőrre helyezett elektródákkal rögzíti a szív elektromos jeleit, elektrokardiogramot produkálva. Ezen a szív egyetlen összehúzódásának folyamatát jellemző elektromos jeleket (hullámokat) is pontosan lehet követni (1. ábra).

Az átlagos szívritmust a percenkénti ütésszám (pulzusszám) jellemzi, de emellett a vegetatív idegrendszer állapotának fontos mutatója az R hullámok közti távolság, amely nem állandó, hanem a légzéssel változik. Ezt nevezik élettani légzési szinusz aritmiának, amelynek mértékét a szívritmus-változékonyság (HRV) jellemzi, és amelynek számszerű mutatói csak az EKG rögzítésével számolhatók ki. Akut stresszhelyzetben a szívritmus jellemzően gyorsul, a szívritmus-változékonyság csökken. Ha két személyt azonos stresszhatás ér, akkor az tekinthető jobb állapotban lévőnek, akinek mindkét paramétere kisebb mértékben változik (vö. [12]).



1. ábra

A fentiek értelmében a stresszhatás okozta változások mérése kiemelt jelentőségű az orvosi gyakorlatban. Meglepő módon azonban nincs olyan általánosan elterjedt módszer, amellyel a stresszhatást, vagyis azt az eseményt vagy eseménysorozatot rögzíteni lehetne, amely a személyt kibillentí az egyensúlyából és alkalmazkodásra kényszeríti. Erre a mindennapi életben általában nincs szükség, de fontos lenne olyan orvosi vizsgálatok során,

amelyek egyes fázisai változó mértékben megterhelőek a páciensek számára, vagy olyan vizsgálat során, amelynek célja éppen a szív működés rendellenességeinek pontos vizsgálata hosszabb időn keresztül. Utóbbira példa az ún. Holter vizsgálat, amelynek során a vizsgált személy egy hordozható EKG készüléket visel 24 órán keresztül, és ha szívpanaszt észlel, akkor meg kell nyomnia egy gombot, ami az EKG-n jelzi a problémás időpillanatot, és kézzel kell beírnia egy naplóba, hogy mi történt éppen akkor vele. (Vö. [1], [2], továbbá: Mikor van szükség Holter vizsgálatra? Házipatika 2019. 06. 17. https://www.hazipatika.com/szi-vderito/szivzurok/cikkek/mikor_van_szukseg_holter_vizsgalatra.) Ez a megoldás nem alkalmazható olyan esetekben, amikor a vizsgálat közben a személy nem mozoghat.

1.3. Holter monitorozás

Ebben a fejezetben részletesen kifejtem a Holter monitorozás módszerét és alkalmazását, melyet már korábban említettem.

A Holter monitorok általában kis méretű eszközök, amelyek elektromos csatlakozókkal vannak ellátva a mellkasra ragasztott elektróda-készletekhez. Ezek az eszközök folyamatosan rögzítik a szív elektromos jeleit, és az adatokat belső memóriájukban tárolják. A páciens viselési ideje általában 24-48 óra, de néha akár több napra is kiterjedhet.

A vizsgálat során a páciensnek részt kell vennie a mindennapi tevékenységekben, beleértve a munkát, az edzést és az alvást is. Az eszköz viselése alatt a beteg naplót vezet az esetleges tünetekről és tevékenységekről, amelyeket az orvos később összehasonlít az elektrokardiogramm adatokkal.

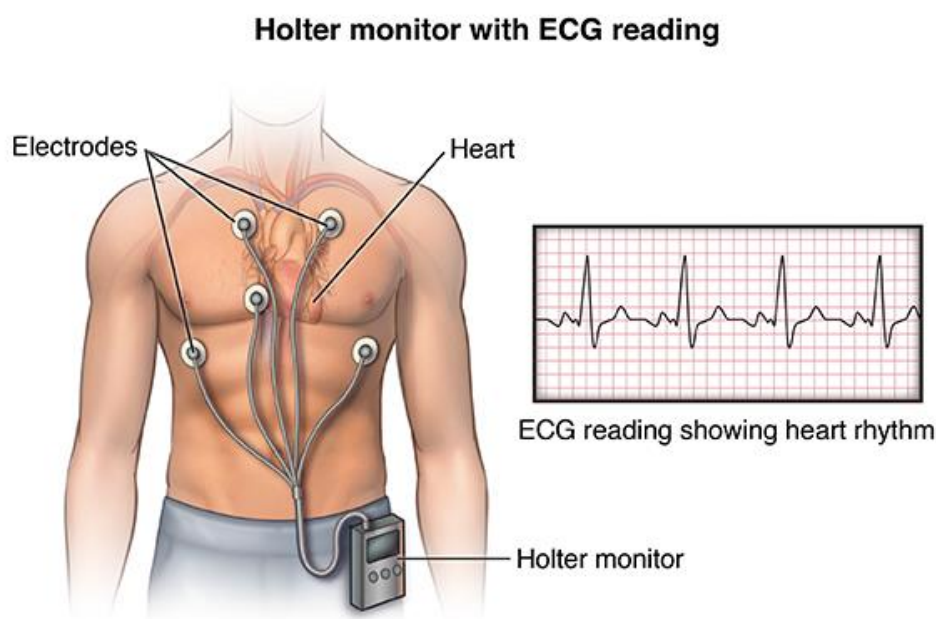
A Holter monitorozás széles körben alkalmazható a szívritmuszavarok, például a pitvarfibrilláció, a kamrai extraszisztolé vagy az időszakos szívritmuszavarok diagnosztizálására. Az előnyei közé tartozik a folyamatos monitorozás képessége, ami lehetővé teszi a ritka vagy tünetmentes szívritmuszavarok kimutatását is.

Ezenkívül a Holter monitorozás nem invazív és viszonylag egyszerű eljárás, amely nem igényel kórházi tartózkodást vagy speciális előkészületeket. Ez lehetővé teszi a páciensek számára, hogy a mindennapi életük során részt vegyenek a vizsgálatban, és így valós körülmények között értékelhetők a szívritmusuk változásai.

Annak ellenére, hogy a Holter monitorozás sok előnnyel jár, vannak néhány hátrányai is. Az egyik ilyen korlátozás az, hogy a viselési idő korlátozott, és így nem minden esetben lehet kimutatni a ritka vagy időszakos szívritmuszavarokat.

Továbbá, bár a Holter monitorozás széles körben alkalmazott módszer, néhány kutatás megkérdőjelezte annak hatékonyságát bizonyos esetekben, különösen azokban, ahol a tünetek ritkán jelentkeznek, vagy azokat nem lehet reprodukálni a vizsgálat ideje alatt.

Azonban folyamatosan zajlanak kutatások a Holter monitorozás terén annak érdekében, hogy javítsák a technológia pontosságát és alkalmazhatóságát. Például, fejlettebb szoftverek és algoritmusok fejlesztése zajlik, amelyek lehetővé teszik a nagyobb mennyiségű adat elemzését és a szívritmuszavarok pontosabb azonosítását. (Vö. [3], [6], [16], [17], továbbá Holter Monitor Johns Hopkins Medicine <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/holter-monitor>.)



2. ábra - Holter monitor EKG leolvasással

2. Egy magyar fejlesztésű pszichofiziológiai rendszer (FIPOK)

2.1. A rendszer fejlesztésének rövid története

A FIPOK fejlesztését egy 2018-2019-es pályázat keretében kezdte meg egy hazai cég, az Aviatronic Repüléstechnikai Fejlesztő Kft. fejlesztőcsapata. A pályázati projekt címe „*Fiziológiai és pszichológiai személyi kalibrálási adatokon alapuló vizsgálati módszer kutatása és neurofeedback-elven működő alkalmasság-vizsgálati rendszer kifejlesztése*” volt, amely célja a különösen nagy felelősséggel járó feladatot végzők (pl. légijárművezetők, légiirányítók), vagy extrém környezeti, vagy fizikai igénybevételnek kitett egyének mentális alkalmasság-vizsgálatához és szűréséhez új, egyéni alapértékeket rögzítő kalibrációs módszertan, valamint a valós helyzetet célzó korrelációs kiértékelő algoritmus kutatása és kidolgozása.

A kutatás aktualitását az adta, hogy a fokozott felelősségű, vagy különösen nagy terhelést okozó feladatot végzők (pl. légi-szakszemélyzet) alkalmasság-vizsgálatánál az utóbbi időben erőteljesebb hangsúlyt kapott a mentális alkalmasság és az állapotszűrés jelentősége – egyik ilyen ok pl. a Germanwings 2015-ös katasztrófája is.

A szoftvert folytonos fejlesztés jellemzi és felhasználási területe a kutatásoknak köszönhetően folyamatosan bővül.

2.2. A rendszer működése

A FIPOK mérőrendszert a kutatás során egy újonnan kifejlesztett protokollal alkalmaztuk, amelyben a fentebb már említett eseménynaplózást tette lehetővé az egycsatornás EKG szenzorral történő adatgyűjtéssel egy időben. A mérőrendszer használatához olyan laptop szükséges, amelyen megtalálható egy saját fejlesztésű operációs rendszer, illetve a FIPOK szoftver. A szoftverhez nem szükséges internet hozzáférés, mivel MAC-címek segítségével tudjuk csatlakoztatni az egycsatornás EKG szenzort.

A FIPOK rendszer lényege egy méréskoordinátori munkaállomás és több mérőállomás által végezhető méréssorozat, melyeket a méréskoordinátori munkaállomás segítségével egy személy tudja vezetni. A méréskoordinátori munkaállomás és a mérőállomások kapcsolata egy saját kiépítésű hálózaton keresztül történik. Ezen a hálózaton keresztül tudjuk a mérőállomásokat szinkronizálni a méréskoordinátori munkaállomással. A méréskoordinátori munkaállomás egy szinkronizálás során a mérőállomáson frissíti a protokollokat. A mérőállomás az összegyűjtött adatokat felszinkronizálja a méréskoordinátori munkaállomásra.

A méréskoordinátori munkaállomás továbbá képes az internethálón való kommunikációra, ahol eléri az Aviatronic Kft. szerverét. Ez azért lényeges, hogy képesek legyünk a mért adatokat felszinkronizálva további elemzéseket végezni.

2.3. Alkalmazott szenzorok

A FIPOK mérőrendszer során három fő szenzort használunk. Az EEG fejpánt (3. ábra) és az EKG mellkas hevederrel (4. ábra) ellátott szenzorok, melyek a relaxációs állapot megítéléséhez az agyi alfa hullámokat, a stressz szint méréséhez a szívfrekvencia-variabilitást (HRV) mérik. A rendszerbe integrálva van továbbá egy kamerakép alapú fejpozíció és arc-mimika megfigyelő mesterséges intelligencia algoritmus is. (Részletesebb leírásért lásd FIPOK Aviatronic Repüléstechnikai Fejlesztő Kft. https://www.aviatronic.hu/about_fi-pok_hun.html.)



3. ábra - EEG szenzor (Muse S (Gen 2))



4. ábra - EKG szenzor (Movesense)

A kutatás során mellkas hevederre rögzített EKG szenzort használtuk, melynek adataiból a szívfrekvencia-variabilitást (HRV) jellemző adatok kiszámíthatók. Ezek közé tartoznak az alábbiak:

- Baevsky-index: a szívritmus szabályozásának centralizációs fokát mutatja.
- RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences between normal heart-beats): az egymást követő szívverések időeltérését jellemző minden értéket négyzetre emelnek, majd ezek átlagát veszik, mielőtt négyzetgyököt vonnak belőle.
- SDNN: (Standard Deviation of NN intervals): az egymást követő szívütések közötti időbeli változékonyságot méri, kifejezve azok szórását a normál szívverések időtartamaiban.

Az EKG szenzor egy egycsatornás Movesense gyártású mozgás- és pulzusszámmérző szenzor. A Movesense egy akkumulátorral működő eszköz, amely alacsony energiaigényű érzékelő komponenseket tartalmaz Bluetooth Low Energy (BLE) képes mikrovezérlő egységgel (MCU). A Movesense érzékelő a Nordic Semiconductor nRF52 BLE chipjén alapul,

amely kilenc tengelyes mozgásérzékelővel, pulzusszám-egységgel, extra memóriával és egyebekkel van felszerelve.

A Movesense szenzor hardvere kiváló minőségű és strapabíró. A szenzor a Bluetooth Low Energy technológiát használja a vezeték nélküli kommunikációhoz, és vízálló műanyag tokban van elhelyezve, ami akár 30 méteres mélységig is vízálló. A szenzor fő eleme a Nordic Semiconductor nRF52832 vezérlője, amely egy ARM M4 magot tartalmaz, és kezeli a Bluetooth kapcsolatot és a Movesense platform szoftverét.

A szenzor külső perifériás hardverrel is rendelkezik, amelyek segítségével különböző változókat lehet mérni, például gyorsulást, giroszkópot, hőmérsékletet és pulzusszámot. Emellett egyedi vezérelhető LED-ek is találhatók a vizuális jelzésekhez.

A Movesense platform jelenlegi verziója tartalmazza az EEPROM memóriát, amelyet az adatnaplózó funkciókhoz lehet használni. (A szenzorról többért vö. Movesense Documentation <https://www.movesense.com/docs/>.)

A szenzor hatótávolsága általában öt-nyolc méter, azonban ez a távolság csökkenhet akár három méterre is, ha egy nagyobb test elhelyezkedése jellefedést eredményez a szenzor és a mérőállomás között.

A mellkas hevederbe integrált elektródák segítségével a szenzor képes összegyűjteni az adatokat és Bluetooth-on keresztül továbbítani a szoftver felé. A mintavételezési frekvencia 125 Hz. A mintavételezés adatait egy JavaScript Object Notation (JSON) fájlba kerülnek összegyűjtésre. A fájl tartalmazza a mintavételezés során kiszámításra került HRV, Baevsky, RMSSD és SDNN értékeket. Ezekből az értékekből létre tudunk hozni különböző diagramokat és ábrákat.

2.4. A fejlesztés célja

A pszichofiziológiai rendszer fejlesztésének fő célja a különböző élettani hatások által okozott pulzusszám növekedés mérésére és a relaxáltsági szint kimutatására irányul.

Ez a rendszer azonban nem csupán az egyszerű mérésre szorítkozik, hanem kiegészíti a modernkori mérőműszerek funkcionalitását, melyek képesek ugyan a háromcsatornás EKG jel mérésére a vizsgálat alatt, azonban az adatok tárolására nincs lehetőségük. Ennek a hiánynak az ellensúlyozására született meg a szoftver, mely nemcsak az EKG jel rögzítést szolgálja, hanem lehetővé teszi a különböző eseményeken mért stresszhelyzet okozta élettani értékek mérés utáni kielemezését is.

A fejlesztés során kiemelt fontosságot kapott az is, hogy a rendszer képes legyen a páciensek stressz-szintjének és pulzusszámának változását mérni egy adott vizsgálat során. Ezáltal a gyakorlatban alkalmazott stresszkezelési technikák hatékonyságát és hasznosságát lehetett mérni és értékelni az eredmények alapján.

Az újítás ezenkívül lehetővé teszi az orvosok számára, hogy a diagnosztikai folyamatok során gyorsabban és hatékonyabban elemezhessék az élettani jeleket, ami hozzájárulhat a betegek gyorsabb és pontosabb kezeléséhez.

3. Hagyományos módszer és új fejlesztés összehasonlítása

3.1. Rögzítési technológia

A Holter vizsgálat hagyományos megközelítése több csatornán működik, és egy 24-48 órás időtartam alatt rögzíti a szívtevékenységet. Ehhez a páciensnek vezetnie kell egy kézzel írt naplót az események rögzítésére, amelyet később az orvosok kiértékelnek. Ez a módszer bizonyos korlátokat állít, például nem teszi lehetővé a mozdulatlanságot igénylő vizsgálatok során a páciens számára az adatrögzítést.

A FIPOK rendszer új megközelítést kínál az események rögzítésére, ahol egy esemény-rögzítő szoftver segítségével a páciens eseményeit külső megfigyelő is rögzítheti. Ezáltal a pontosabb és objektívebb adatokat kapunk az eseményekről, és elkerülhető a páciens terhelése, aki így nem köteles kézzel vezetni a naplót.

A Holter monitor hagyományosan többcsatornás EKG szenzorokat alkalmaz, amelyek az eszközbe integrált memóriába rögzítik az adatokat. Ez a módszer lehetővé teszi a szívtevékenység különböző aspektusainak egyidejű rögzítését, például a szívritmust és a szívizomzat elektromos aktivitásának változásait.

A FIPOK rendszer azonban egycsatornás EKG szenzort használ, amelyet a páciens testére helyeznek. Az EKG adatokat nem a helyi memóriában tárolják, hanem Bluetooth Low Energy (BLE) kommunikáción keresztül folyamatosan továbbítják egy számítógépes szoftvernek. Ez a megközelítés lehetővé teszi az adatok valós idejű elemzését és azonnali visszajelzést a szívtevékenységről.

3.2. Adatfeldolgozás és elemzés

A Holter monitor esetében az adatokat a készülék memóriájában tárolják, majd később le kell tölteni és ki kell értékelni azokat. Ez időigényes és potenciálisan hibás folyamat lehet, különösen, ha a kézzel írt napló nem pontos vagy hiányos. A Holter monitorral végzett adatfeldolgozás főként szívelégtelenséggel küzdő páciensek monitorozására szolgál, ahol az orvosok a szívritmuszavarokat, a szív elektromos aktivitásának változásait és egyéb kardiovaszkuláris problémákat azonosítanak.

A FIPOK rendszer azonnal továbbítja az adatokat Bluetooth Low Energy (BLE) kommunikációval egy számítógépes szoftvernek. Ez lehetővé teszi az azonnali adatfeldolgozást és elemzést, ami gyorsabb és hatékonyabb kezelést eredményez. A FIPOK rendszer különösen hatékony a stressz mértékének mérésére a vizsgálatok vagy stresszhelyzetek közben. A valós

idejű adatfeldolgozás és az eseményrögzítő szoftver segítségével az orvosok azonnal megfigyelhetik a páciens élettani változásait és azonosíthatják a stressz kiváltó okait.

3.3. Felhasználói élmény és kezelhetőség

A Holter monitor kényelmetlenséget okozhat a viselőjének, mivel nagyobb és több csatornán működik. A Holter monitor kábelekkel rendelkezik, amelyek korlátozzák a viselő szabad mozgását, ami további kényelmetlenséget jelenthet a mindennapi tevékenységek során.

A FIPOK rendszer könnyebb viselhetőséget és kezelhetőséget kínál a kisebb méretű és vezeték nélküli Movesense EKG szenzorral. A szenzor könnyű és kevésbé észrevehető, ami kényelmesebbé teszi a viselését egy vizsgálat során. A vezeték nélküli kapcsolat lehetővé teszi a páciensek szabad mozgását, anélkül, hogy a kábelek akadályoznák őket. Ezenkívül a külső megfigyelő által rögzített események lehetővé teszik a páciens vizsgálatának a folytonosságát.

3.4. Eredmények megbízhatósága

Mind a Holter monitor, mind pedig a FIPOK rendszernek biztosítania kell az eredmények megbízhatóságát. A Holter monitor többcsatornás EKG szenzorainak köszönhetően részletes és sokoldalú adatokat gyűjt a szívtevékenységről, ami különösen hasznos a szívbetegségek diagnosztikájában. Azonban a FIPOK rendszer az élő adatközlésnek köszönhetően azonnali visszajelzést és beavatkozást tesz lehetővé, ha szükséges, ezáltal növelve az eredmények megbízhatóságát, különösen a stresszválaszok mérésében és értékelésében.

3.5. Klinikai felhasználhatóság

A Holter monitor célzottan szívelégtelenséggel küzdő páciensek monitorozására alkalmas, és hatékony eszköz a szívritmuszavarok, a szívizomzat elektromos aktivitásának változásai és egyéb kardiovaszkuláris problémák azonosításában. Ezzel szemben a FIPOK rendszer általános stresszhelyzet mérésére és az események objektív rögzítésére szolgál, ami lehetővé teszi szélesebb körű klinikai felhasználást és rugalmasabb megközelítést az egészségügyben. A FIPOK rendszer hatékonyan képes mérni a stressz mértékét különböző vizsgálatok vagy stresszhelyzetek során, és az adatok valós idejű elemzésével gyorsan azonosítani tudja a stressz kiváltó okait, ami hasznos lehet a pszichológiai és pszichiátriai vizsgálatok során is.

4. Szenzor és szoftver közötti kommunikáció és adatfeldolgozás

4.1. A Movesense Szenzor és Whiteboard Kommunikáció

A Movesense szenzor rendelkezik egy mikroszolgáltatás-architektúrával, amelyet Whiteboardnak nevezünk, és amely lehetővé teszi az adatkommunikációt a szenzor és a szoftver között.

A Whiteboard kommunikáció a REST-szerű kommunikációra hasonlít, ahol szolgáltatók és kliensek között zajlik az információcsere.

A Whiteboard rendszerben a szolgáltatók adatszolgáltatást biztosítanak, míg a kliensek ezeket a szolgáltatásokat használják.

A rendszer alapvető kéréstípusokat támogat, mint például a GET, PUT, POST és DELETE, amelyekkel a kliensek adatokat kérhetnek, módosíthatnak vagy törölhetnek. A kommunikáció során a kliensek aszinkron kéréseket küldenek, és a szolgáltatók aszinkron válaszokat küldenek vissza.

A Whiteboard rendszer egy további funkciót is bevezet, az előfizetést. Az előfizetés lehetővé teszi a kliensek számára, hogy folyamatos értesítéseket kapjanak a szolgáltatóktól.

Az előfizetést mindig le kell zárni egy leiratkozási kéréssel, ami a REST API-ban POST és DELETE műveletekként jelenik meg.

Az adatforrások és azok REST API specifikációi YAML formátumban vannak megírva. Például a TIME erőforrás esetén a specifikáció tartalmazza a GET és PUT műveletek leírását, valamint azok paramétereit és válaszait.

A Whiteboard C++ programozási interfész segítségével lehetőség van a szenzor szoftverek fejlesztésére és testreszabására. A könyvtár kulcsfontosságú komponensei közé tartozik a LaunchableModule és a ResourceProvider, amelyek lehetővé teszik az új modulok és szolgáltatások hozzáadását a szenzor szoftverhez.

A Whiteboard modulok két lépcsős indítási és leállítási folyamaton mennek keresztül. Az inicializációs és indítási eljárások során a modulok készen állnak a kommunikációra és a szolgáltatások nyújtására a szenzorok felé.

A ResourceProvider osztály lehetővé teszi új szolgáltatások regisztrálását a szenzorokhoz, valamint az interfész metódusok felülírását a kívánt szolgáltatások biztosításához.

A ResourceClient osztály lehetővé teszi a klientsztől a szolgáltatókhoz történő kommunikációt és adatlekérdezést, valamint a folyamatos adatátvitelt a szenzorok között.

A Whiteboard timer funkciók lehetővé teszik időzített műveletek végrehajtását a szenzorokon, például periodikus mérések és értesítések küldését. (Vö. [21], [22].)

4.2. A BLE GATT kommunikáció jelentősége és működése

A BLE (Bluetooth Low Energy) GATT (Generic Attribute Profile) kommunikáció az egyik alapvető módszer a Bluetooth-eszközök közötti adatátvitelre.

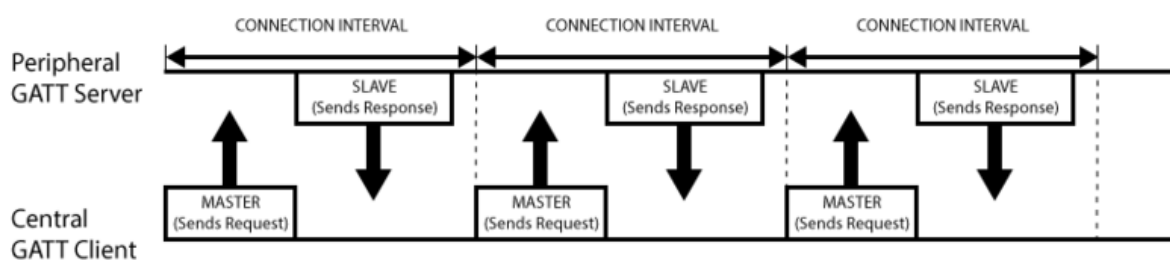
A GATT (Generic Attribute Profile) tranzakciók fontos koncepciója a szerver/kliens kapcsolat.

A periféria, vagyis a Bluetooth-eszköz, ismert, mint a GATT Szerver, amely tárolja az ATT (Attribute Protocol) kereső adatokat, valamint a szolgáltatások és jellemzők definícióit. A GATT Kliens (a telefon/táblagép) kéréseket küld ennek a szervernek.

Minden tranzakciót a fő eszköz, vagyis a GATT Kliens kezdeményez, majd választ kap a másodlagos eszköztől, a GATT Szerről.

Kapcsolat létrehozásakor a periféria javasol egy 'Kapcsolati Intervallumot' a központi eszköznek, amely minden kapcsolati időközben megpróbál újra kapcsolódni, hogy megnézze, elérhető-e új adat stb. Fontos megjegyezni, hogy ez a kapcsolati időköz valójában csak egy javaslat! A központi eszköz esetleg nem tudja teljesíteni a kérést, mert épp más perifériával beszél, vagy az szükséges rendszeri erőforrások nincsenek elérhetők.

A következő ábra (5. ábra) a periféria (a GATT-kiszolgáló) és a központi eszköz (a GATT-ügyfél) közötti adatcsere folyamatát hivatott szemléltetni, ahol a fő eszköz kezdeményez minden tranzakciót:



5. ábra - Periféria és központi eszköz közötti adatcsere folyamata

A BLE GATT kommunikáció lehetővé teszi két Bluetooth-eszköz között az adatok cseréjét azáltal, hogy definiálja az adatok strukturált tárolásának és átvitelének módját. Ennek alapja a Service-k és Characteristic-ek fogalma, amelyek segítségével logikai egységeket és specifikus adategységeket határozhatunk meg.

A BLE GATT kommunikációban a Services és Characteristics fogalmi kulcsfontosságúak. A Services az adatokat logikai egységekre bontja, míg a Characteristics konkrét adat-egységeket reprezentálnak.

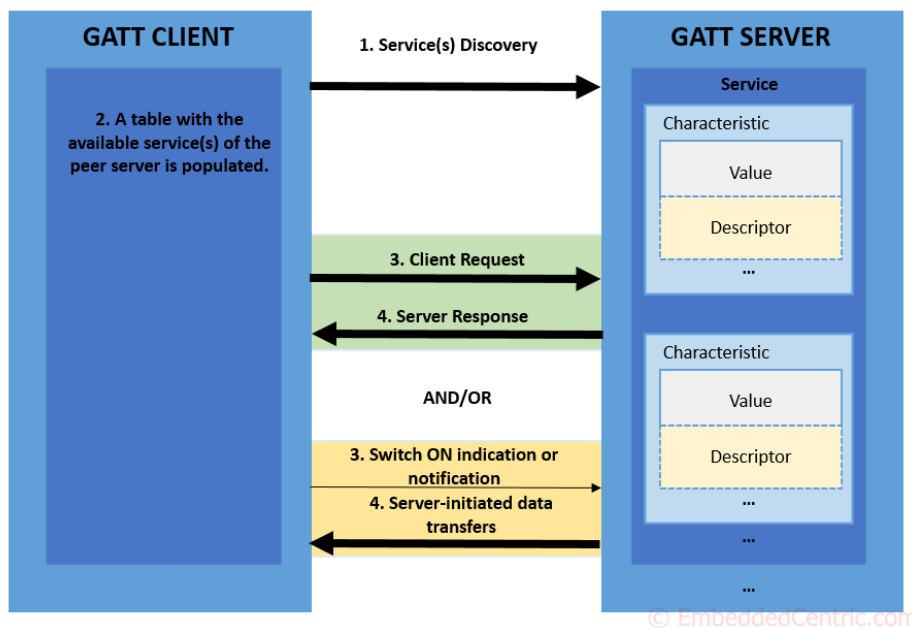
Services (Szolgáltatások): A Services az adatok logikai csoportosítását jelentik, és különböző funkciókat és jellemzőket határoznak meg. Például a Heart Rate Profile kombinálja a Heart Rate Service és a Device Information Service-t.

Characteristics (Jellemzők): A Characteristics az adatok konkrét egységeit képviselik. Minden jellemző egyedi azonosítót (UUID-t) kap, és különböző adatokat tartalmazhat, például mért értékeket vagy beállításokat.

A BLE GATT kommunikációban a perifériát (általában a szenzor vagy az adatforrás) a GATT Serverként, míg a központi eszközt (például egy mobiltelefont vagy táblagépet) a GATT Clientként azonosítjuk. A kommunikáció mindig a fő eszközről indul, és a válaszokat a másodlagos eszköz küldi vissza.

A kommunikáció során a GATT Client indítja a tranzakciókat, és a GATT Server válaszol. A tranzakciók során az adatok cseréje történik a két eszköz között, amelyek lehetnek olvasási, írási vagy értesítés alapúak.

A kapcsolatmenedzsment része a GATT kommunikációnak, és a periféria által javasolt kapcsolati időköz (Connection Interval) beállítása és fenntartása. Ez biztosítja, hogy a fő eszköz rendszeresen ellenőrizze a perifériát új adatok vagy események esetén. (Vö. [15], [23], [28].)



6. ábra - GATT kliens/szerver kölcsönhatások

4.3. A Whiteboard API és a GATT-szolgáltatás integrációja

Az általános módszertan és alkalmazások kialakítása során a Whiteboard API-t használjuk a Movesense környezetben. Ennek a részletes elemzése és funkcionális működése kulcsfontosságú a szenzor és szoftver közötti kommunikációhoz és az erőforrások kezeléséhez.

A saját alkalmazásunk fejlesztése során C++ nyelven írt kódot használunk a Whiteboard API integrálásához. Ebben az alkalmazásban a GATT-szolgáltatás lesz a központi kommunikációs csatorna a szenzor és a laptop között.

A szenzoron futó alkalmazás a „movesense-device-lib” és egy saját kis appot jelent, ami az API-hívásokon keresztül használja az erőforrásokat. Ez az app egyedi GATT-szolgáltatást ad hozzá, amelyen keresztül zajlik maga a kommunikáció. A GATT működése révén lehetőségünk van feliratkozni az adat-értesítésekre és küldeni parancsokat a szenzornak.

A laptopon futó fogadó oldal egy Python-os kliens. Ennek a kliensnek a feladata, hogy BLE-n keresztül csatlakozzon a szenzorhoz, feliratkozson az adat-értesítésekre és parancsokat küldjön a szenzornak. A kapott üzeneteket dekódolja, majd a tartalmuknak megfelelően dolgozza fel, például továbbítja az LSL-en keresztül az RR-távolságokat.

A BLEAK nevű könyvtárat használva valósítjuk meg ezt a Python-os klienst. Ez az alkalmazás lehetővé teszi a szenzorral történő BLE-n történő kapcsolatot és a kommunikációt.

Az LSL (Lab Streaming Layer) segítségével valósul meg az adatfelvétel és a feldolgozás. Az LSL lehetővé teszi a szenzorok és az alkalmazások közötti egységes kommunikációt, és biztosítja az adatok megfelelő időbélyegzését.

Az RR-távolság adatokat élőben továbbítjuk az LSL-en keresztül, és ezeket az adatokat a cockpit veszi fel és írja ki egy XDF fájlba. Az LSL-nek köszönhetően a kapott adatok egy helyes időbélyeggel ellátott fájlban kerülnek rögzítésre.

A protokoll végén egy XDF fájlban rögzítjük az adatokat, amely tartalmazza az RR-távolságokat és a kérdőív-kitöltés adatait. A postprocess nevű Python alkalmazás ezt az XDF fájlt dolgozza fel, amely egy konfigurációs JSON alapján határozza meg, hogy az adott fájl hogyan kell feldolgozni.

A HrvProcess osztály a HRV feldolgozást végzi el, míg a SurveyProcess osztály a kérdőív felvételét kezeli. Ez a folyamat biztosítja a kapott adatok strukturált és értékes elemzését, lehetővé téve a kívánt eredmények kinyerését és értelmezését.

4.4. BLEAK

A Bleak egy olyan GATT kliens szoftver, amely kifejezetten a BLE (Bluetooth Low Energy) eszközökkel való kommunikációhoz lett tervezve. Az alkalmazás lehetővé teszi a BLE eszközökkel való kapcsolódást és adatcserét, ahol ezek a BLE eszközök GATT (Generic Attribute Profile) szerverként működnek. A Bleak fő célja egy olyan aszinkron, platformfüggetlen Python API biztosítása, amely lehetővé teszi a BLE eszközökkel való egyszerű és hatékony kommunikációt, például szenzorokkal vagy más perifériákkal.

Az alkalmazás támogatja a Windows 10 operációs rendszert, ahol a legalább a Fall Creators Update vagy annál újabb verzió szükséges a futtatásához. Emellett támogatja a különböző Linux disztribúciókat is, feltéve, hogy rendelkeznek a BlueZ 5.43 vagy annál újabb verziójával. Az OS X és macOS felhasználók számára pedig Core Bluetooth API-t biztosít legalább az OS X 10.11 verziójától kezdve.

A Bleak lehetővé teszi a GATT szerverekről való adatok olvasását, írását és értesítések kapását. Ez azt jelenti, hogy az alkalmazás segítségével lehetőség van adatok lekérdezésére és beállítások írására a szerveroldalról, valamint értesítések fogadására a szerver által bekövetkező eseményekről vagy változásokról. Emellett a Bleak lehetőséget biztosít a BLE eszközök felfedezésére is, ami azt jelenti, hogy az alkalmazás segítségével könnyedén megtalálhatók és csatlakoztathatók a környező BLE eszközök.

Összességében a Bleak egy egyszerű és hatékony megoldást nyújt a Bluetooth Low Energy-eszközökkel való kommunikációhoz Python környezetben. A platformfüggetlen jellege és a széles körű támogatás lehetővé teszi a fejlesztők számára, hogy könnyen integrálják a Bleak eszközöket a Python alapú alkalmazásaikba, és kiaknázzák azok előnyeit a szenzorok, perifériák vagy más BLE-eszközök által nyújtott funkcionálisok terén. (Több információért lásd Henrik Blidh, 2020: Bleak Documentation <https://bleak.readthedocs.io/en/latest/>.)

4.5. LSL (LabStreamingLayer)

A lab streaming layer (LSL) egy rendszer, amelyet kutatási kísérletek során alkalmaznak mérési idősorok egységes gyűjtésére (vö. [13]). Az LSL kezeli a hálózati kommunikációt, az idősinkronizációt, a valós idejű hozzáférést, valamint az adatok központi gyűjtését, megtekintését és lemezre történő rögzítését. A LSL disztribúció magában foglalja a magját alkotó könyvtárat és egy sor eszközt, amelyeket erre a könyvtárra építettek.

A magját alkotó szállítási könyvtár a liblsl, amelynek nyelvi interfészei elérhetők C, C++, Python, Java, C#, MATLAB nyelveken. Ez a könyvtár általános célú és platformfüggetlen, mivel támogatja a legelterjedtebb operációs rendszereket, például a Windows-t, Linuxot, Mac-t, Androidot és iOS-t, valamint különböző architektúrákat, mint az x86, amd64 és arm.

Az LSL számos eszközt kínál, mint például egy rögzítő programot, fájlok importálót és alkalmazásokat, amelyek segítségével a laborhálózaton (lab network) keresztül elérhetővé válnak az adatok a különböző mérési hardverekről, például hang-, EEG- vagy mozgásvizsgáló eszközökről.

Az LSL egy stream alapú modellt használ az adatok kezelésére, amelyben a legkisebb adategység egy minta, ami egy eszköz egy adott időpontban mért összes csatornájának mérése. Ezeket a mintákat egyesével vagy több minta darabjában, ún. chunk-okban lehet továbbítani a hálózaton.

Az stream-hez metaadatok is társulnak, amelyek információkat tartalmaznak az adatok tartalmáról és a mérés körülményeiről. A stream-eket kimeneti és bemeneti csatornák segítségével lehet elérni, amelyek lehetővé teszik az adatok továbbítását és fogadását a hálózaton.

Az LSL egy beépített órát is tartalmaz, amely lehetővé teszi az adatok időbélyegzését, hogy kölcsönösen szinkronizálhatóak legyenek. Ez a funkció a helyi hálózaton a századmásodperces pontosság elérését teszi lehetővé. Emellett az LSL biztosít megbízhatóságot a hálózati kommunikáció során, például a TCP megbízhatóságának öröklésével és a hibák automatikus kezelésével (vö. [5], [14]).

5. Kutatási protokoll

5.1. A kutatás során előállított stresszhelyzet leírása

A jelen kutatás során kétféle, képalkotó orvosi diagnosztikai vizsgálatot szimuláló stresszhelyzetnek voltak kitéve a hallgatók (PET-CT és SPECT vizsgálat). Az orvosi vizsgálatok általában stresszhatást jelentenek a páciensek számára, amely gyakran szorongást okoz (vö. [27]). A képalkotó orvosi vizsgálatok, habár nem fájdalmasak, szintén stresszhatást jelentenek, amelyek szorongást keltenek a páciensek jelentős részében. Ennek összetett okai vannak, egyebek közt az esetleges kóros eredménytől, a sugárzástól, a kontrasztanyagtól, valamint a kis helyre bezártságtól való félelem (vö. [10]).

Ilyen szorongáskeltő hatású lehet a számítógépes tomográfia (computed tomography, CT), a pozitronemissziós tomográfia (positron emission tomography – computed tomography, PET-CT), és az egy-foton emissziós tomográfia (single-photon emission computed tomography, SPECT). Ezen vizsgálatok közben azonban nem lehet a páciensek szív működését követni, kivéve a SPECT vizsgálatot. Utóbbi ugyanis használható a szívizomzat vizsgálatára, amelyhez szükség van EKG-jelekre, azonban az ilyen készülékek sem rögzítik az EKG-t, vagyis az utólag nem vizsgálható.

5.2. A tesztelés résztvevői

A tesztelésre egy, a Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Karán a 2023/24. tanév 2. félévében futó kreditkurzus („Stresszcsökkentés a gyakorlatban”) keretében került sor. Ennek kurzusfelelőse a dolgozat társ-témavezetője (Dr. Kósa Karolina). A kreditkurzust 8 orvostanhallgató vette fel, akik stresszcsökkentő technikákat, egyebek közt lassított kontrollált hasi légzést tanultak, amelyeket aztán különféle stresszhelyzetekben alkalmazniuk kellett.

A mérések során minden résztvevő előzetes beleegyezésével és az orvosi vizsgálatokhoz szükséges hivatalos felhatalmazási nyilatkozat aláírásával került sor, minden tekintetben a vonatkozó szabályzatoknak megfelelően.

5.3. A tesztelés menete

A hallgatók előzetesen részletes tájékoztatást kaptak a vizsgálat menetéről, amely két alkalommal (2024. március 14. és március 21.) 7:30-9:15 között került sor, alkalmanként 4 hallgató részvételével. Egy hallgató visszautasította a vizsgálatot, ő csak az események naplójában vett részt. 4 fő PET-CT, 3 fő SPECT protokollt választott. A vizsgálatra

sugárterhelés nélkül, de a vizsgálat egyéb elemeinek végrehajtásával (vizsgálóasztal mozgatása, vizsgálófej körbefordítása, hűtéssel kapcsolatos és egyéb hanghatások) került sor a Debreceni Egyetem Klinikai Központjának Nukleáris Medicina Központjában, Dr. Barna Sándor Kristóf szakorvos vezetésével. Egy időben egy személy vizsgálata történt. A vizsgálat előtt az önként jelentkező hallgató felhelyezte a mellkaspántra rögzített EKG szenzort, egy másik hallgató megkapta a laptopot, amelyen az eseményeket naplóznia kellett. Minden helyzetben magam felügyeltem a naplózást, illetve két alkalommal én vezettem az eseménynaplót. A vizsgálóhelyiségben két hallgató volt, az egyik a képalkotó eszközben, a másik mellette ülve figyelte és rögzítette a történéseket.

A nukleáris medicina szakorvos és a kurzusfelelős mindkét alkalommal végig jelen volt, és felügyelte az eseményeket.

5.4. Egyéni azonosító és szenzorkapcsolat ellenőrzése

Az egyéni azonosító és a szenzorkapcsolat ellenőrzése alapvető fontosságú lépés a mérések kezdetén. Az egyéni azonosító kiosztása anonimitást biztosít a mérésben részt vevő alanyoknak, lehetővé téve számukra, hogy a mérés után visszatekintsenek az eredményeikre. Ezáltal a protokoll nemcsak a jelenlegi mérésre, hanem az adatok későbbi felhasználására is felkészült módon történik.

A szenzorkapcsolat ellenőrzése biztosítja, hogy a mérés során az adatok hibamentesen kerüljenek rögzítésre. A szenzor és a szoftver közötti kapcsolat stabilitása és megbízhatósága elengedhetetlen az adatok pontos és megbízható rögzítése szempontjából. Az ellenőrzés során meggyőződünk arról, hogy minden kapcsolat megfelelően működik-e, és hogy az adatok folyamatosan és megbízhatóan érkeznek-e a rendszerbe.

The screenshot shows the FIPOK software interface. At the top left is the FIPOK logo. Below it, the protocol is set to 'Gyakorlat_1'. There is a 'Kód:' input field followed by an 'OK' button and the instruction 'Véglegesítse az OK gombbal!'. A list of instructions follows: 1. Enter the identification code and click OK. 2. Click 'Szenzor start' and wait for the indicator to turn green. 3. When ready, click 'Protokoll start' to begin. A note mentions that the 'Folytatás' button can be used to resume the protocol if needed. At the bottom are three buttons: 'Szenzor start', 'Protokoll start', and 'Folytatás'. A 'Vissza a kezdőképernyőre' button is at the bottom left. On the right side, under 'Szenzorok állapota', there is a section for 'EKG állapota' showing a heart rate icon and a battery level indicator.

7. ábra - Kód megadása és szenzor ellenőrzése

5.5. Eseményrögzítő rendszer

Az eseményrögzítő kérdőív alapvető elemeinek meghatározása során minden egyes esemény felvételekor számos adatot rögzítünk. Az esemény nevén túl, az időpontok meghatározása is kulcsfontosságú, beleértve annak kezdetét és végét. Az időbélyegek segítségével pontosan lokalizáljuk az eseményeket az idővonalon, ezáltal lehetővé téve a kronológiai rend betartását és az események időtartamának pontos mérését.

A protokoll lehetőséget biztosít az eseményekhez kapcsolódó egyéb események rögzítésére vagy megjegyzések hozzáadására.

Az egyéb történés rögzítése például azt jelentheti, hogy rögzítjük, mikor történt meg egy specifikus cselekvés vagy esemény a folyamatban lévő tevékenység során. Vegyük például azt az esetet, amikor egy injekciót adunk be. Ebben az esetben az „injekció beadása” az esemény neve, és az ilyen típusú rögzítés során rögzíthetjük a szúrás pillanatát. Ezáltal az „injekció beadása” eseményéhez tartozó egyéb történésként feljegyezzük a szúrás időpontját.

Egy esemény rögzítése során egyszer van lehetőségünk egyéb esemény rögzítésére, amely időbélyeggel ellátva rendelődik hozzá az esemény idővonalához. Ez a lehetőség további információkat adhat az események körülményeiről vagy részleteiről, ami segíti a későbbi elemzéseket és értékeléseket.

Ezen felül, a protokoll rugalmasságot biztosít az eseményrögzítő személy számára, lehetővé téve, hogy tetszőleges számú eseményt rögzítsenek, attól függően, hogy a mérés során milyen események történnek.

Ezáltal a kérdőív összességében lehetővé teszi a strukturált és részletes adatrögzítést, amely alapvető fontosságú az adatok megbízható gyűjtése és későbbi értékelése szempontjából. A rugalmasság és a részletes rögzítési lehetőségek segítségével biztosítottak az adatok teljes körű és pontos dokumentálása, ami növeli a protokoll validitását és megbízhatóságát.

Nagyobb betűméret

Kisebb betűméret

Adatgyűjtés

1./2 oldal

Mérési adatok

1. Események rögzítése

Használja az alábbi űrlapot a történések rögzítésére. Adjon hozzá megfelelő névvel eseményeket, például 'Vénaszűrés első próba'; majd a megfelelő időpontban kattintson a 'Start', 'Stop' elemekre.

1.

1. Esemény megnevezése:

2. Jelölje, amikor elkezdődik: *

☐ Start

3. Más rögzítendő történet (nem start vagy stop; csak egy adható meg):

☐ Egyéb (adja meg)

4. Jelölje, amikor véget ér: *

☐ Stop

5. Megjegyzés:

Új hozzáadása

1 / 1 rekord

Előre

8. ábra - Eseménynaplózó

5.6. Kilépési folyamat

A kétfaktoros kilépési folyamat biztosítja, hogy az eseményrögzítő személyek számára lehetőség nyíljon az események hibamentes és teljes körű rögzítésére. Ennek köszönhetően biztosítottak a lehetőségek az esetleges elírások vagy figyelmetlenségek korrigálására, és az események rögzítése zavartalanul folyhat tovább.

A hatékony hibakezelés szerepe kritikus fontosságú a kilépési folyamatban, hogy biztosítsuk az adatok pontos és megbízható rögzítését. A megfelelő intézkedések és eljárások alkalmazása lehetővé teszi számunkra, hogy gyorsan és hatékonyan reagáljunk az esetleges problémákra, és biztosítsuk az adatok megbízhatóságát és pontosságát.

Adatgyűjtés

2./2 oldal

2. Biztosan végzett? A továbblépéssel befejezi a kitöltést.

Vissza

Beküldés

9. ábra - Kilépés megerősítése oldal

Adatgyűjtés

A kitöltés befejeződött.

Kattintson ide a kilépéshez!

10. ábra - Protokoll befejezése

5.7. Adatfeldolgozás és értékelés

A protokoll lezárása után az adatfeldolgozó algoritmus azonnali kiértékelést végez, és egy strukturált dokumentum formájában prezentálja az eredményeket mind az eseményrögzítő, mind a mérőalany számára. Ez a dokumentum jelenleg nem foglalkozik az eseménynaplóval vagy a szenzoradatok együttes megjelenítésével, csupán a szenzorból származó adatok diagramon való ábrázolásával.

A protokoll eseményrögzítése manuális folyamat, ami azt jelenti, hogy minden adatot kézzel kell rögzítenie az eseményrögzítő személynek. Az események felvételekor szigorúan

követni kell az előírt struktúrát, beleértve az esemény nevét, kezdeti és befejezési időpontját, valamint az esetleges egyéb történések rögzítését és megjegyzéseket.

Az adatfeldolgozás és értékelés során az összegyűjtött adatokat validáljuk, majd feldolgozzuk és elemzésnek vetjük alá. Az adatok értelmezése során keressük a mintázatokat, tendenciákat és összefüggéseket, amelyek segítenek a kutatási célok megértésében és a következtetések levonásában.

A dokumentum formátuma lehetővé teszi az eseményrögzítő és a mérőalany számára az eredmények könnyű megértését és hozzáférését. Ennek eredményeként a protokoll által rögzített adatok azonnal használhatók és értelmezhetők, elősegítve a kutatási folyamat folyamatosságát és hatékonyságát.

6. Eredmények

6.1. Esemény és élettani változás illeszkedésének elemzése

Az alábbi két táblázatban (1. táblázat és 2. táblázat) az események és élettani változások illesztésének időbeli eltérései láthatóak másodpercekben, a két mérési nap külön-külön bemutatva. Ezek a különbségek abból adódnak, hogy az eseményrögzítést végző személyeknek hozzá kellett szokniuk a rendszer használatához, illetve az események felvétele időigényes volt.

Az első mérési napon (2024. március 14.) egy eseményrögzítő személy végezte az események naplózását. Megfigyelhető, hogy hogyan szokott hozzá a szoftver kezeléséhez és milyen eseményeket rögzített. Az eseményrögzítést végző személy pontossága és az események rögzítésének sűrűsége jól látszik a diagramokon. Az első nap eseményrögzítő személyének pontossága átlagosan 19,74 másodperc volt, ami ilyen jellegű méréseknél jelentősnek minősül.

A második mérési napon (2024. március 21.) több eseményrögzítő személy vett részt, és az én felügyeletem alatt rögzítették az egyes eseményeket, ami pontosabb adatrögzítést eredményezett. A második mérési nap eredményeit bemutató diagramokon jól látszik, hogy a különböző eseményrögzítők milyen eseményeket és milyen gyakorisággal rögzítettek. Ezek hozzájárulnak az adatok pontosabb megértéséhez. Itt nincs értelme átlagos eltérést számolni, mivel különböző eseményrögzítők voltak jelen. Bár még mindig sok az RMSSD változás és az eseményrögzítés közötti eltérés, megállapítható, hogy felügyelet alatt hatékonyabban történik az események felvétele.

Az elemzés során megfigyeltem a relaxáltsági értékeket, és a látványos ingadozások alapján számoltam ki az eltérést az események és az élettani értékek között. Ezen megfigyelés alapja az a feltételezés, hogy egy esemény bekövetkeztével a relaxáltsági érték azonnal reagál és kimutatja a változást. A diagramokon ez az RMSSD csökkenésében és a HRV növekedésében figyelhető meg.

A táblázatban azokat az eseményeket vettem össze, amelyek mindkét szimuláció során bekövetkeztek, és ahol látványosabb változásokat vártunk az élettani értékekben. Természetesen előfordult, hogy nem volt rögzítve az esemény, és így nem kerültek meghatározásra az időeltolódási különbségek az élettani értékek és az események között. Ezeket az eseteket kihúzással jelöltem.

Eltelt idő (mp) adott esemény és RMSSD-változás kezdete közt

2024. március 14. mérések

Esemény	PET-CT 1 (11. ábra)	PET-CT 2 (13. ábra)	SPECT 1 (15. ábra)
Felfekszik az ágyra	2.65	-	37.5
Elkezdődik a vizsgálat	3.36	16.8	39.19
Betolják a gépbe	-	51.68	-
Forog a vizsgálófej	7.68	35.7	24.48
Fej benn van a gépben	18.6	-	33.2
Kifelé jön	-	11.28	-
Vizsgálat vége	4.44	1.44	8.16

1. táblázat – Események és élettani változások közti idő eltolódások (2024. március 14.)

Eltelt idő (mp) adott esemény és RMSSD-változás kezdete közt

2024. március 21. mérések

Esemény	PET-CT 1 (12. ábra)	PET-CT 2 (14. ábra)	SPECT 1 (16. ábra)	SPECT 2 (17. ábra)
Felfekszik az ágyra	0.52	0.0	0.0	0.99
Elkezdődik a vizsgálat	12.4	17.47	0.4	1.8
Betolják a gépbe	10.83	12.3	9.12	0.26
Forog a vizsgálófej	5.61	13.02	4.62	2.62
Fej benn van a gépben	1.96	21.48	10.62	0.12
Kifelé jön	-	16.56	0.3	12.93
Vizsgálat vége	23.28	30.96	10.46	4.98

2. táblázat – Események és élettani változások közti idő eltolódások (2024. március 21.)

6.2. További fejlesztést igénylő problémák

Élettani változást meghaladó időintervallum esemény és élettani változás kezdete közt az eseménynaplózás lassú.

Esemény leírása naplózó személyek szerint változik, ha egy listából lehetne események közül választani az pontosabb, de kisebb szabadság az események leírásában.

Legyen lehetőség az új esemény felvételénél automatikus indításra és befejezésére.

Egy oldalon férjen el az esemény felvétele, ezáltal könnyebb kezelhetőséget érünk el.

6.3. Stresszhelyzet (esemény) és azáltal okozott élettani változások illesztőségének kutatási jelentősége

Az elért eredmények jelentős mérföldkőként állnak a kutatás szolgálatában, különösen azáltal, hogy sikerült új megközelítéseket alkalmazni az adatgyűjtés és elemzés terén. A két új hazai fejlesztésű szoftver által gyűjtött adatokból kinyert diagramok által bemutatott értékek elemzése és megjelenítése rendkívül fontos lépés volt a vizsgált folyamatok megértésében és értékelésében.

Ezen felül, az a képesség, hogy vizsgálat közben folyamatosan monitorozni tudtuk az élettani értékeket, és ezt követően részletes elemzésnek alávetni, kiemelkedő fontosságú volt. Egy ilyen komplex monitorozási és elemzési módszer bevezetése korábban nem volt jellemző az orvosdiagnosztika kutatásában, így a sikeres alkalmazás maga nagy eredményként értékelhető.

Az eredmények részletesen bemutatták azokat a jelenségeket, amikor egy esemény bekövetkezése során változások következtek be a mérőalany élettani paramétereiben. Különösen érdekes volt megfigyelni, hogyan reagált a szervezet stresszhatásokra, és hogyan változott meg ennek hatására a szívfrekvencia-változás (HRV) és a relaxáltsági szint (RMSSD). Emellett értékes adatokat nyújtott a légzéstechnika hatékonyságáról, amelyeket a szívfrekvencia-változások (HRV) és a relaxáltsági szint (RMSSD) értékeinek változása alapján lehetett észlelni.

Kiemelendő az is, hogy a női és férfi résztvevők közötti különbségek vizsgálata során érdekes eredményeket kaptunk. Kezdetben a nőket magasabb átlagos stressz-szint jellemezte a férfiakhoz képest, azonban a légzéskontroll alkalmazásával sikerült csökkenteniük ezt a szintet. Ebből kiderült, hogy bár alapvetően magasabb volt a stresszszintjük, a megfelelő technikák alkalmazásával képesek voltak csökkenteni azt. Ezen kívül, az egyes nemek

közötti különbségek jól láthatóak voltak az ábrákon, például a férfiak alacsonyabb átlagos HRV-je és a nők magasabb értékei között.

Összességében elmondható, hogy az elért eredmények nemcsak új megvilágításba helyezték a vizsgált folyamatokat és jelenségeket, hanem új lehetőségeket is megnyitottak az orvosdiagnosztika és a stresszkezelés terén.

6.4. Hozzájárulása a tudományos kutatásnak az informatikatudomány területének

A kutatásom során egy olyan haza fejlesztésű rendszer tesztelése volt a cél, amely a modern technológiák és szenzorok alkalmazásával hatékonyabbá teszi a stressz követését az orvosi diagnosztikában. Ezen új rendszer integrálja az informatikai szoftvereket és protokollokat, így biztosítva a korszerű vizsgálatok és diagnosztikai módszerek fejlesztését.

Az informatika tudományának területén a kutatásom számos értéket képvisel. Elsősorban hozzájárul a következő területekhez:

Adatgyűjtés és elemzés: A szenzorok használata lehetővé teszi a folyamatos és pontos adatgyűjtést a stressz szintjének változásairól. Az összegyűjtött adatok feldolgozása és elemzése új informatikai algoritmusok és szoftverek fejlesztését igényli, amelyek képesek nagy mennyiségű adat hatékony és gyors feldolgozására.

Rendszerintegráció: A különböző technológiák és szenzorok integrálása egy egységes rendszerbe komplex informatikai kihívásokat rejt magában. Ez a kutatás hozzájárul az ilyen rendszerek tervezéséhez és megvalósításához szükséges protokollok és szabványok fejlesztéséhez.

Innováció az egészségügyben: Az orvosi diagnosztika területén a stressz követésére alkalmazott informatikai rendszerek fejlesztése új innovációkat hoz az egészségügyi technológiákban.

Multidisziplináris együttműködés: A kutatás során az informatika és az orvostudomány szoros együttműködésére van szükség. Ez a fajta multidisziplináris megközelítés új kutatási irányokat nyit meg, és hozzájárul a tudományágak közötti szinergiák kialakulásához.

Tudományos és gyakorlati alkalmazhatóság: A fejlesztett rendszer gyakorlati alkalmazhatósága révén közvetlenül hozzájárul a mindennapi orvosi gyakorlat javításához. Az informatikai megoldások beépítése az orvosi diagnosztikába javítja a diagnózisok

pontosságát és gyorsaságát, ami hosszú távon az egészségügyi ellátás minőségének javulását eredményezi.

Összefoglalásként, a kutatásom jelentős mértékben hozzájárul az informatikatudomány fejlődéséhez, különös tekintettel az egészségügyi diagnosztika területén. Az új rendszerek és technológiák fejlesztése nemcsak tudományos szempontból értékes, hanem gyakorlati alkalmazhatóságuk révén az orvosi ellátás minőségét is javítja, ezáltal közvetlen pozitív hatással van a társadalom egészére.

Összefoglalás

A kutatás fontosabb megállapításai

A vizsgálat célja az volt, hogy stresszhelyzetet és azáltal kiváltott stresszválaszt két szoftver illesztésével (stresszhelyzetet rögzítő eseménynapló, mellkaspántra rögzített EKG-szenzor adatainak rögzítése) nyomonkövetni és elemezni lehessen. A protokoll tesztelésére egy kreditkurzus keretében, hallgatók közreműködésével került sor. Ennek hallgatói stresszcsökkentő technikákat tanultak, amelyeket két szimulált (sugárterhelés nélküli) képalkotó orvosi vizsgálat (PET-CT, SPECT) során, mint stresszhelyzetben kellett alkalmazniuk. A két szoftver a gyakorlatban alkalmazható és illeszthető, de az eseménynaplózás manuális volta miatt az optimálisnál lassabban működik, ezért késéssel rögzíti az aktuális történéseket.

A kutatás előnyei és korlátai

Az EKG szenzorral felszerelt Movesense mérőrendszerek forradalmian új lehetőségeket teremtenek a stressz monitorozásában és annak nyomon követésében. Ezek a rendszerek lehetővé teszik a valós idejű szívfrekvenciák pontos rögzítését, melyeket később tárolhatunk és részletesen elemezhetünk. A Mosvesense szenzorral és a folyamatosan fejlődő technológiával együtt egy számítógépes szoftverbe integrálva, ezek a rendszerek könnyen alkalmazhatók és testre szabhatók az egyének szükségletei szerint.

A stresszmonitorozásban rejlő potenciál kiemelkedő fontosságú, mivel a stressz jelentősen befolyásolhatja a szívritmust és az általános egészségi állapotot. Az EKG szenzorral rögzített adatok lehetővé teszik számunkra, hogy objektív és megbízható információkhoz jussunk a stressz szintjéről és annak hatásairól.

A könnyen változtatható és egyszerűen létrehozható új protokollok és fejlesztések megvalósítása további előnyöket kínál a rendszer rugalmassága és funkcionalitása szempontjából. Ez lehetővé teszi, hogy a Movesense EKG szenzorral ellátott mérőrendszerek folyamatosan alkalmazkodjanak az új igényekhez és fejlesztésekhez, így biztosítva a legmagasabb színvonalú szolgáltatást és eredményeket a felhasználók számára.

Korlátként azonosítható az alacsony mintaelemszám, ezt azonban a tesztelés időigényét figyelembe véve körülményes jelentősen növelni. A történések (események) külső megfigyelő által történő manuális rögzítése lassú, ezért hátrányt jelenthet az adatgyűjtés során. Az alacsony mintaelemszám korlátozza az adatok reprezentativitását és megbízhatóságát, mivel kevesebb adat áll rendelkezésre az elemzéshez, így a kapott eredmények lehetnek torzítottak vagy nem

teljesen átfogóak. Emellett az alacsony mintaelemszám csökkentheti az elemzés statisztikai értékét és általános alkalmazhatóságát.

A történések manuális rögzítése időigényes és hajlamos a hibákra. A külső megfigyelő által végzett manuális rögzítés során az időbeli eltérések miatt előfordulhatnak pontatlanságok az események rögzítése és azok bekövetkezése között. Ez különösen problémás lehet, ha az események gyorsan követik egymást vagy ha az események pontos időpontja kritikus fontosságú az elemzés szempontjából.

Tanulságok

Eseménynapló továbbfejlesztése:

- egy képernyőn legyen minden funkció,
- eseményindító gomb legyen legfelül,
- alatta: esemény legyen listából választható?
- automatikus eseményindítás és leállítás,
- az események pontos illesztése mesterséges intelligencia bevonásával.

Ezeket a kihívásokat figyelembe véve fontos lenne a műszeres orvosi vizsgálatok által okozott stresszterhelést vizsgálni és kezelni. Jelenleg azonban még a legfejlettebb műszerek sem képesek teljes mértékben értékelni ezt a stresszt, például a SPECT berendezés. Habár az EKG képes a vizsgálat alatt megmutatni a szív működését, azonban nincs lehetőség arra, hogy az adatokat elmentsék és utólagosan elemezzék az orvosok.

Ez a hiányosság korlátozza az orvosok lehetőségeit az objektív és részletes vizsgálatok elvégzésében, valamint a betegek állapotának pontosabb felmérésében. A stresszterhelés figyelembevétele azonban kulcsfontosságú lenne a betegek egészségének és jólétének megőrzése szempontjából, mivel a stressz negatív hatással lehet a szervezet egészére és az egyes betegségekre is.

Az ilyen kihívásokra való megoldás érdekében szükség van olyan műszaki fejlesztésekre, amelyek lehetővé teszik az adatok rögzítését és utólagos elemzését a műszeres vizsgálatok során. Ez lehetővé tenné az orvosok számára, hogy részletesen elemezzék a betegek állapotát, és személyre szabottabb kezelési tervet dolgozzanak ki számukra. Ezen túlmenően segíthet a betegek stresszszintjének felmérésében és kezelésében is, ami hozzájárulhat az általános egészségük és jólétük javításához.

Jövőbeni tervek

Az előrehaladás és a fejlesztések folytatása céljából fontos további kutatásokat és fejlesztéseket végezni az EKG szenzorral ellátott mérőrendszerek terén.

A jövőbeni tervek közé tartozik olyan technológiák kifejlesztése, amelyek lehetővé teszik a nagyobb mintaelemszámú adatok gyűjtését és elemzését, valamint az események automatizált rögzítését és követését. Emellett fontos olyan integrált megoldások kidolgozása, amelyek lehetővé teszik az adatok valós idejű és utólagos elemzését, valamint az egészségügyi szakemberek számára könnyen hozzáférhetővé teszik a kapott eredményeket és információkat.

A jövőbeni tervek között szerepel továbbá az olyan innovatív megoldások kidolgozása, amelyek lehetővé teszik az EKG szenzorok szélesebb körű alkalmazását és hatékonyabb felhasználását az egészségügyi és diagnosztikai területeken.

Saját munka leírása

A kutatás előkészítése és végrehajtása során számos fontos feladatot végeztem el, amelyek közül kiemelkedő szerepet játszottak a saját munkámban az alábbiak:

Először is, a hazai fejlesztésű szoftverek telepítése és konfigurálása a laptopokra az én feladatom volt. Ennek során biztosítottam, hogy minden szükséges alkalmazás és eszköz megfelelően működjön a mérések során.

Ezt követően létrehoztam a mérési protokollt, amely meghatározta a kutatás folyamatát és a vizsgálandó paramétereket. Ennek részeként definiáltam a mérési lépéseket, az adatgyűjtési módszereket és az értékelési kritériumokat.

A szoftverek konfigurálását és a szenzorok párosítását is én végeztem el, biztosítva ezzel, hogy minden eszköz megfelelően kommunikáljon egymással és az adatgyűjtés zavartalanul működjön.

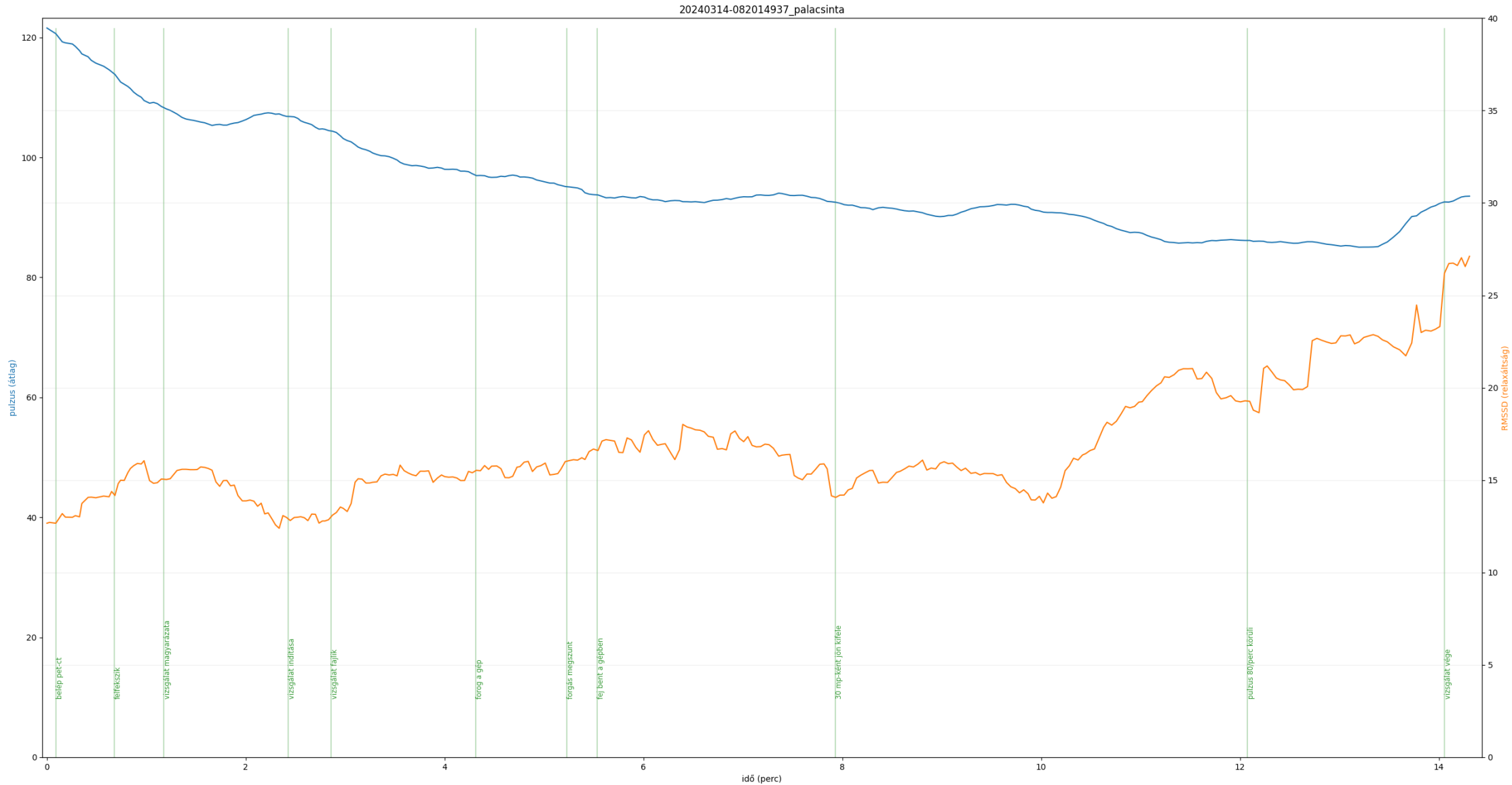
A mérések napján aktívan részt vettem a szenzorok és az eseménykezelő szoftver működtetésében, és felügyeltem a rendszert annak érdekében, hogy minimalizáljam a hibákat és biztosítsam a zavartalan működést.

A mérések után elvégeztem a szükséges adatfeldolgozást, amely magában foglalta az adatok összegyűjtését, előfeldolgozását és statisztikai elemzését. Ezen kívül részt vettem az eredmények értelmezésében és azoknak a dolgozatba történő beépítésében.

Mindezek a feladatok és tevékenységek jelentős mértékben hozzájárultak a kutatás eredményeinek megbízhatóságához és a TDK dolgozat sikeréhez, és ezáltal kiemelkedő szerepet játszottak saját munkám kialakításában és végrehajtásában.

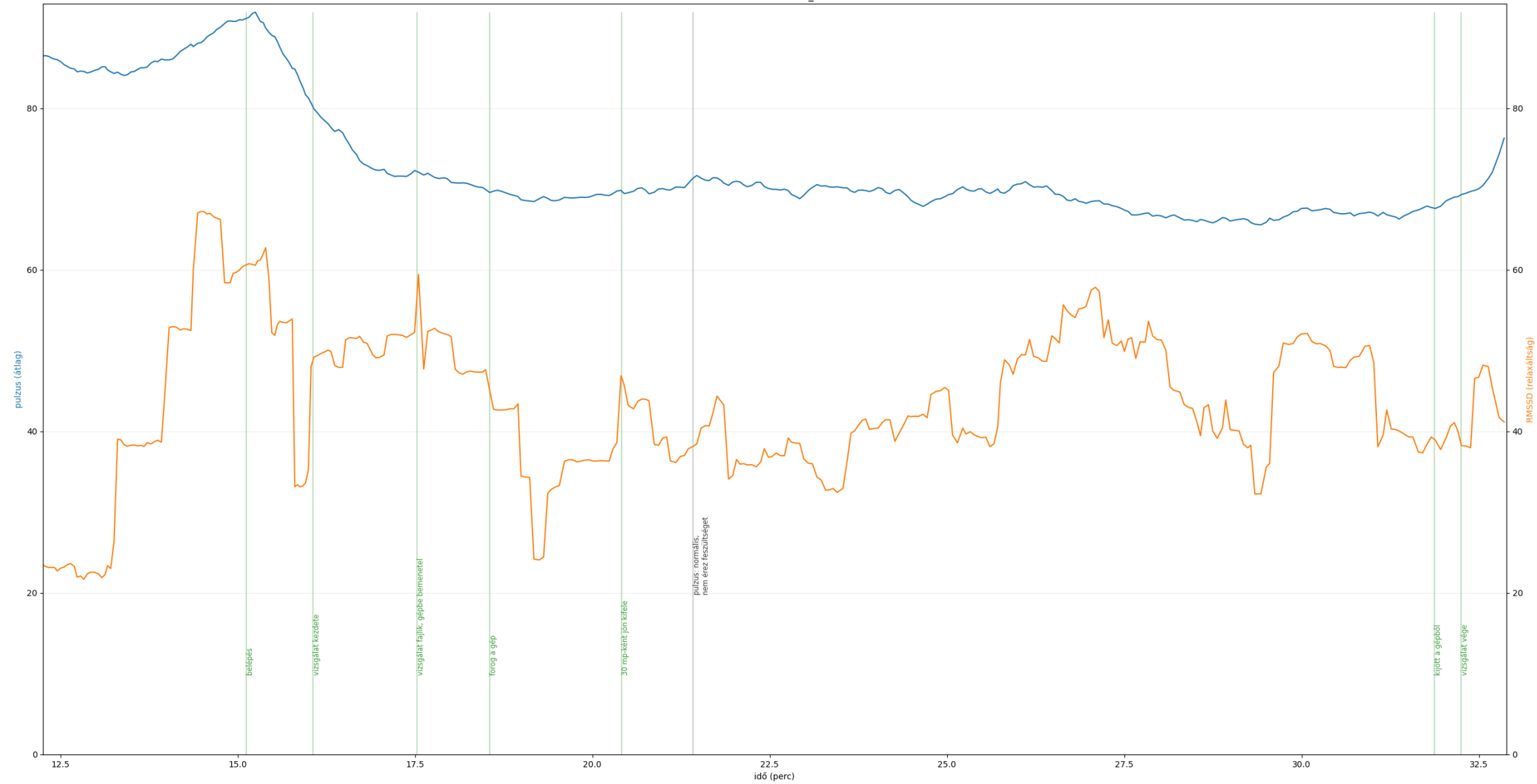
Függelék

Az események és a szív működés változását jellemző paraméterek grafikus megjelenítése tesztalanyonként

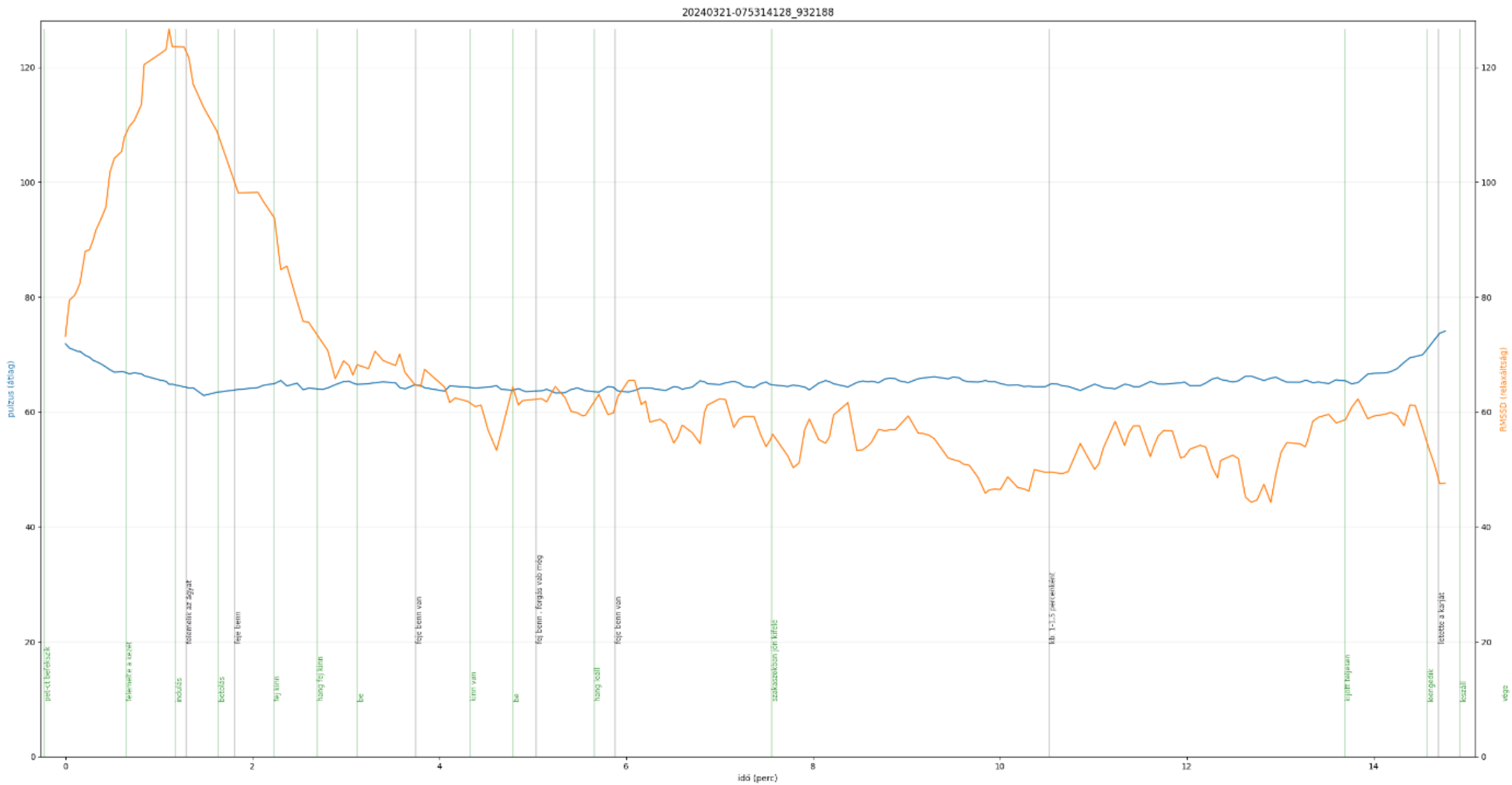


11. ábra - Női PET-CT eredmény

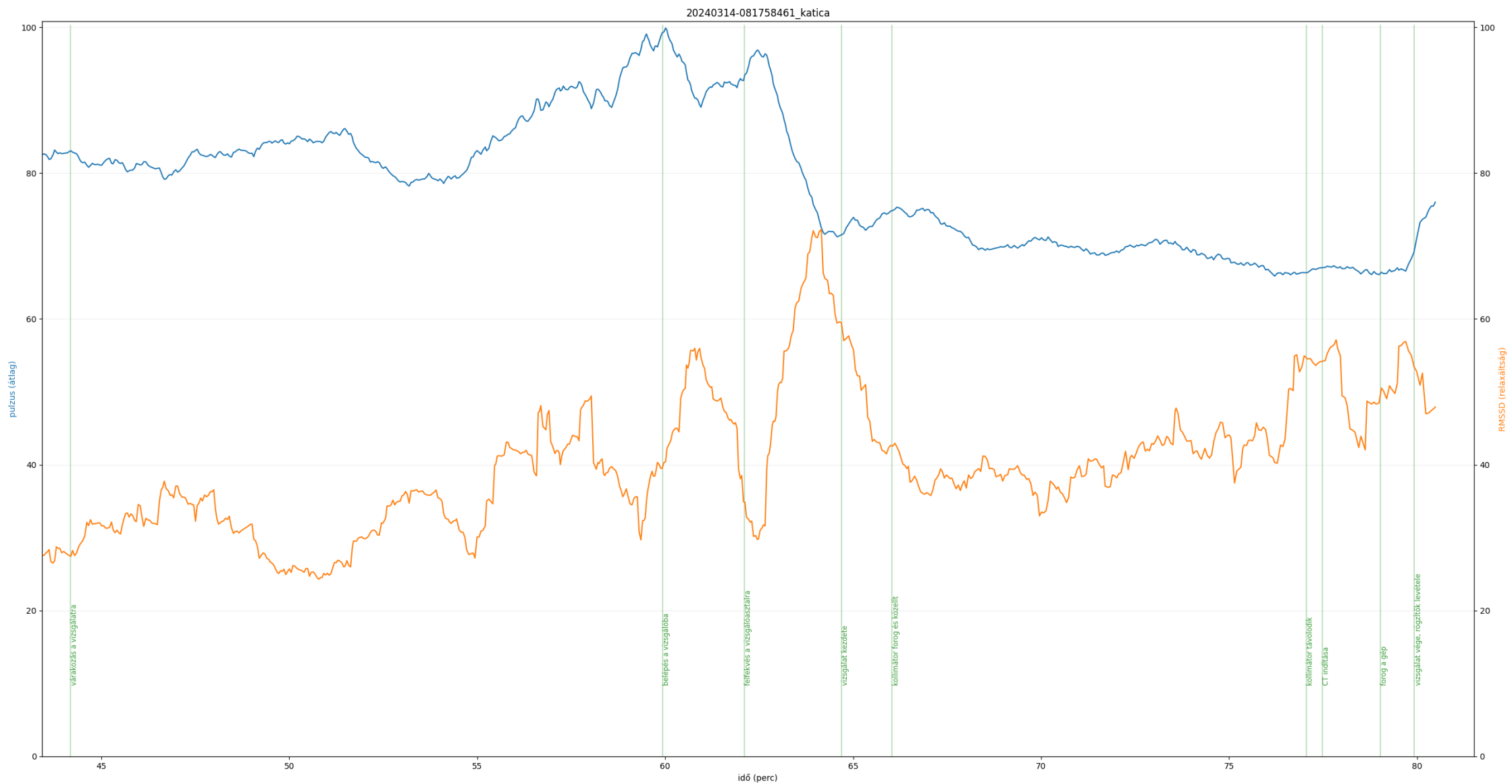
20240314-080500000_000817



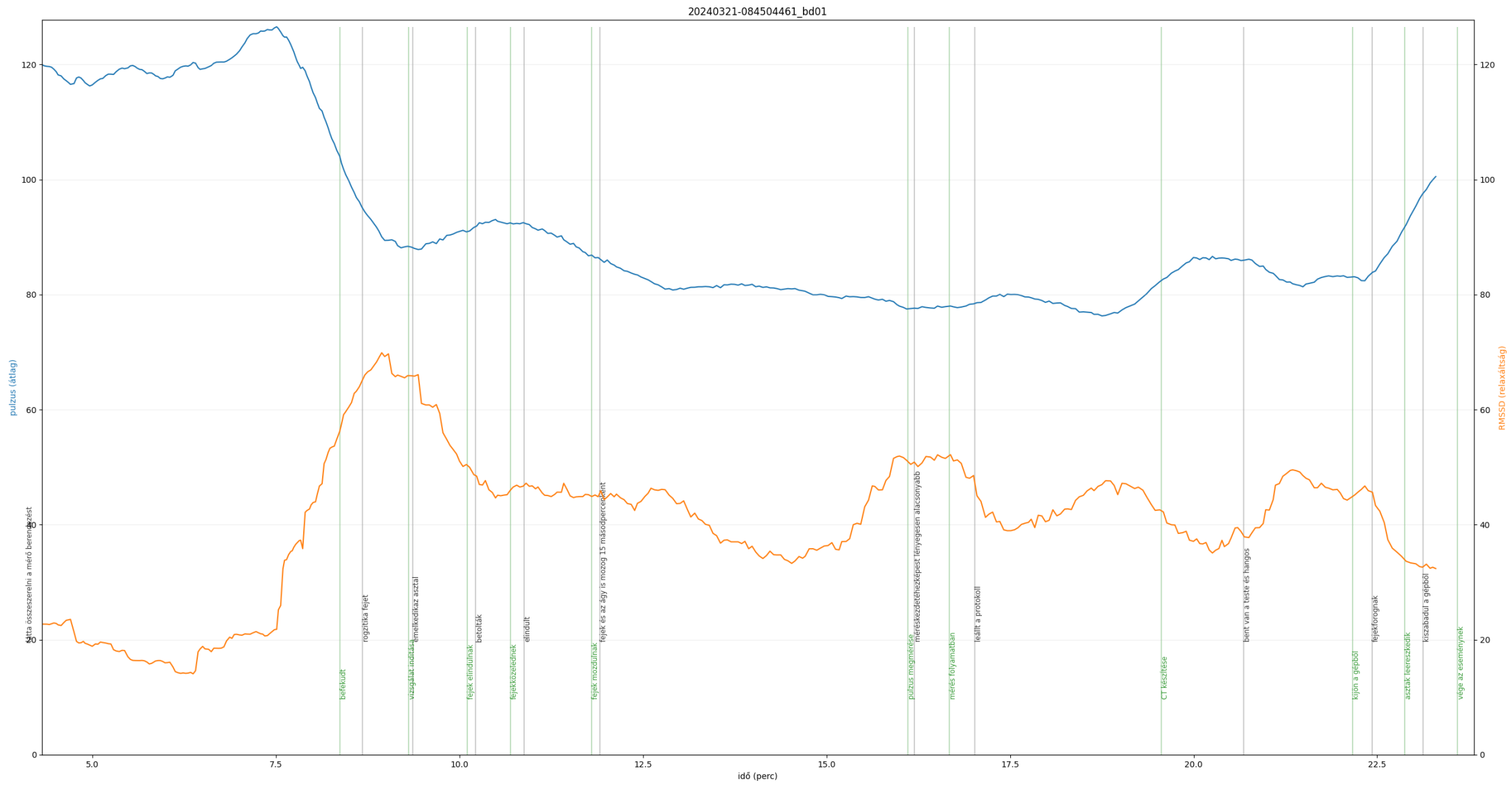
13. ábra - Férfi PET-CT eredmény



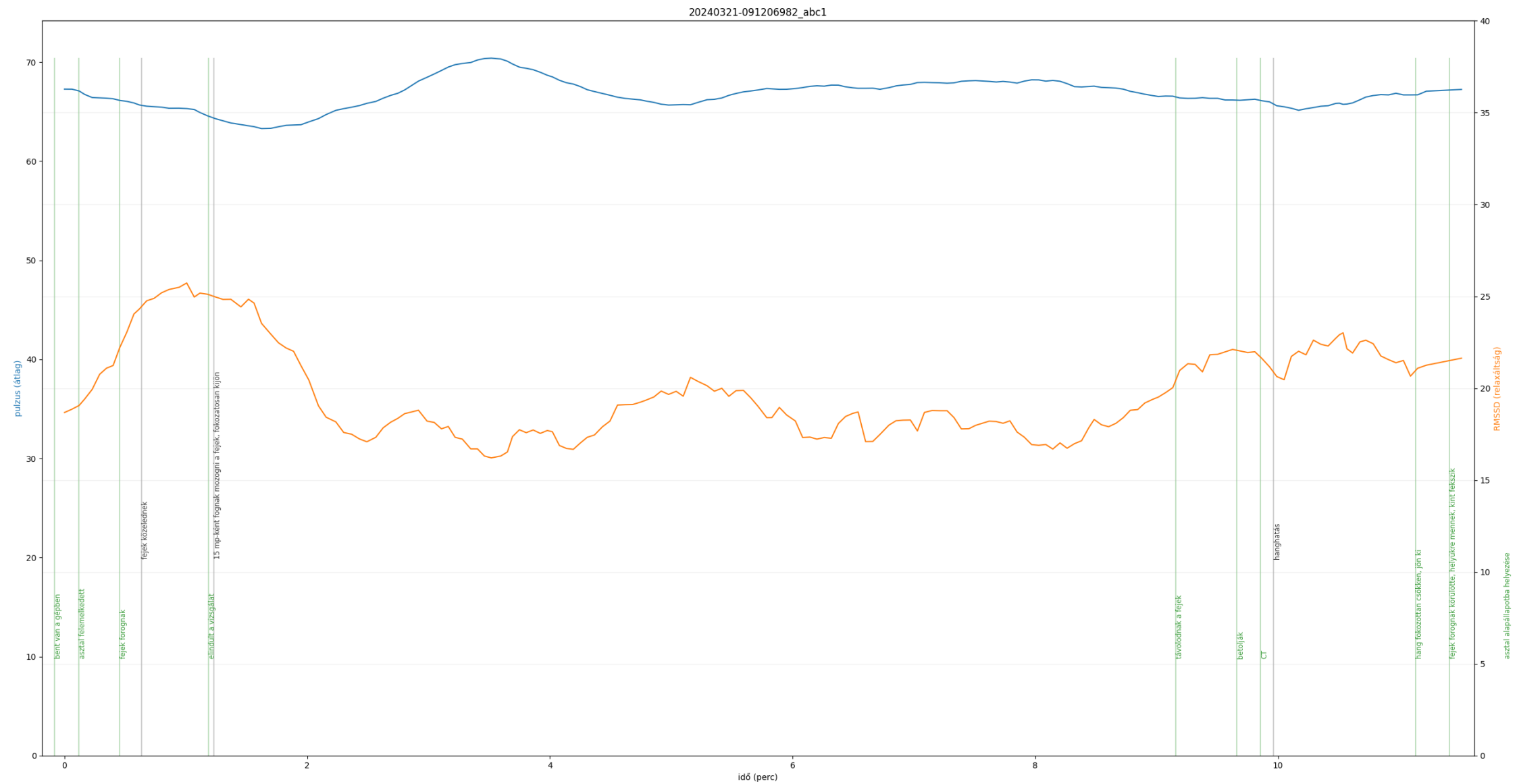
14. ábra - Férfi PET-CT eredmény



15. ábra - Női SPECT eredmény



16. ábra - Női SPECT eredmény



17. ábra - Férfi SPECT eredmény

Ábrajegyzék

1. ábra.....	10
2. ábra - Holter monitor EKG leolvasással	12
3. ábra - EEG szenzor (Muse S (Gen 2))	14
4. ábra - EKG szenzor (Movesense)	14
5. ábra - Periféria és központi eszköz közötti adatcsere folyamata	20
6. ábra - GATT kliens/szerver kölcsönhatások.....	21
7. ábra - Kód megadása és szenzor ellenőrzése.....	26
8. ábra - Eseménynaplózó	28
9. ábra - Kilépés megerősítése oldal	29
10. ábra - Protokoll befejezése	29
11. ábra - Női PET-CT eredmény	36
12. ábra - Női PET-CT eredmény	37
13. ábra - Férfi PET-CT eredmény.....	38
14. ábra - Férfi PET-CT eredmény.....	39
15. ábra - Női SPECT eredmény	40
16. ábra - Női SPECT eredmény	41
17. ábra - Férfi SPECT eredmény.....	42

Táblázatjegyzék

1. táblázat – Események és élettani változások közti idő eltolódások (2024. március 14.).....	32
2. táblázat – Események és élettani változások közti idő eltolódások (2024. március 21.).....	33

Irodalomjegyzék

- [1] M. Aydin, R. Altin, A. Ozeren, L. Kart, M. Bilge és M. Unalacak, „Cardiac autonomic activity in obstructive sleep apnea: time-dependent and spectral analysis of heart rate variability using 24-hour Holter electrocardiograms”, *Texas Heart Institute Journal*, **31** (2), 132, 2004.
- [2] P. M. Barrett, R. Komatireddy, S. Haaser, S. Topol, J. Sheard, J. Encinas, A. J. Fought és E. J. Topol, „Comparison of 24-hour Holter monitoring with 14-day novel adhesive patch electrocardiographic monitoring”, *The American Journal of Medicine*, **127** (1), 95.e11–95.e17, 2014.
- [3] E. B. Bass, E. I. Curtiss, V. C. Arena, B. H. Hanusa, A. Cecchetti, M. Karpf és W. N. Kapoor, „The duration of Holter monitoring in patients with syncope: is 24 hours enough?”, *Archives of Internal Medicine*, **150** (5), 1073–1078, 1990.
- [4] B. Chu, K. Marwaha, T. Sanvictores és D. Ayers, *Physiology, stress reaction*, StatPearls Publishing, Treasure Island (FL), 2019.
- [5] S. Dasenbrock, S. Blum, P. Maanen, S. Debener, V. Hohmann és H. Kayser, „Synchronization of ear-EEG and audio streams in a portable research hearing device”, *Frontiers in Neuroscience*, **16**, 904003, 2022.
- [6] J. P. DiMarco és J. T. Philbrick, „Use of ambulatory electrocardiographic (Holter) monitoring”, *Annals of Internal Medicine*, **113** (1), 53–68, 1990.
- [7] A. Dorsey, E. Scherer, R. Eckhoff és R. Furberg, *Measurement of human stress: a multidimensional approach*, RTI Press, 2022.
- [8] L. Goldberger és S. Breznitz, *Handbook of stress*, Simon and Schuster, 2010.
- [9] C. Hammen, „Stress and depression”, *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, **1**, 293–319, 2005.
- [10] C. M. Heyer, J. Thüring, S. P. Lemburg, N. Kreddig, M. Hasenbring, M. Dohna és V. Nicolas, „Anxiety of patients undergoing CT imaging – an underestimated problem?”, *Academic Radiology*, **22** (1), 105–112, 2015.
- [11] H. Keller, „The Nature of Stress”, *Jones and Bartlett Learning*, 2017.
- [12] H.-G. Kim, E.-J. Cheon, D.-S. Bai, Y. H. Lee és B.-H. Koo, „Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature”, *Psychiatry Investigation*, **15** (3), 235, 2018.

- [13] C. Kothe, D. Medine, C. Boulay, M. Grivich és T. Stenner, „LabStreamingLayer’s documentation”, *Time Synchronization*, 2019.
- [14] C. Kothe, S. Y. Shirazi, T. Stenner, D. Medine, C. Boulay, M. I. Crivich, T. Mullen, A. Delorme és S. Makeig, „The Lab Streaming Layer for Synchronized Multimodal Recording”, *bioRxiv*, 2024-02, 2024.
- [15] J. Löfblom, Prototyping with Movesense Platform: Breathing Application, Thesis, Metropolia University of Applied Sciences, 2019.
- [16] J. W. Mason, „A comparison of electrophysiologic testing with Holter monitoring to predict antiarrhythmic-drug efficacy for ventricular tachyarrhythmias”, *New England Journal of Medicine*, **329** (7), 445–451, 1993.
- [17] G. Nikolic, R. Bishop és J. Singh, „Sudden death recorded during Holter monitoring”, *Circulation*, **66** (1), 218–225, 1982.
- [18] L. I. Pearlin, „The sociological study of stress”, *Journal of Health and Social Behavior*, **30** (3), 241–256, 1989.
- [19] L. I. Pearlin, E. G. Menaghan, M. A. Lieberman és J. T. Mullan, „The stress process”, *Journal of Health and Social Behavior*, **22** (4), 337–356, 1981.
- [20] S. A. Ramsey, J. S. Greenberg és J. F. Hale, „Evaluation of a self-instructional program in stress management for college students”, *Health Education*, **20** (1), 8–13, 1989.
- [21] E. Reilent, Whiteboard architecture for the multi-agent sensor systems, TUT Press, 2012.
- [22] B. Rogers, M. Schaffarczyk, M. Clauß, L. Mourrot és T. Gronwald, „The movesense medical sensor chest belt device as single channel ECG for RR interval detection and HRV analysis during resting state and incremental exercise: A cross-sectional validation study”, *Sensors*, **22** (5), 2032, 2022.
- [23] E. Saarinen, Data Collection Tool for Movesense Sensors, Thesis, Metropolia University of Applied Sciences, 2024.
- [24] B. L. Seaward, Managing stress, Jones & Bartlett Learning, 2017.
- [25] H. Selye, „Stress without distress”, in Psychopathology of human adaptation, *Springer*, 137–146., 1974
- [26] H. Selye, The stress of life (Rev. ed.), McGraw Hill, 1978.

- [27] T. Shryock, „Patient anxiety about doctor appointments could be solved with better education”, *Medical Economics*, **100** (11), 36–37, 2023.
- [28] K. Townsend, Introduction to bluetooth low energy, Adafruit, 2014.