

# Orvosbiológiai számítógépes gyakorlatok

(BMEVITMM203)

## Mérési jegyzőkönyv

---

# OSG M1: Vérnyomás-, pulzus- és EKG mérés

Készítették:

***Jánosa Dávid Péter (FDSA7Y)***

***Mokánszki Béla (FA8YEZ)***

***Veres Dániel Sándor (GLZPT9)***

2014. április 10.



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

## Tartalom

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Bevezető.....                        | 2  |
| Elméleti háttér.....                 | 2  |
| A mérés célja.....                   | 3  |
| A méréshez felhasznált eszközök..... | 3  |
| Regisztrátumok felvétele .....       | 4  |
| Mérési eljárás.....                  | 4  |
| Mérések dokumentálása.....           | 5  |
| Regisztrátumok feldolgozása.....     | 7  |
| EKG: .....                           | 7  |
| PPG: .....                           | 8  |
| Mandzsettanyomás:.....               | 8  |
| 1. feladat .....                     | 9  |
| 2. feladat .....                     | 13 |
| 3. feladat .....                     | 21 |

# Bevezető

## *Elméleti háttér*

A vérnyomás és a pulzus vizsgálata talán a leggyakoribb diagnosztikai eljárás a modern medicinában is. Elsődleges előnye, hogy olcsó, rövid és nem invazív módon képes indikálni a keringési rendszer és a szervezet hozzávetőleges állapotát.

A vérnyomást több paraméter együttese határozza meg, ilyen a szív aktuális állapota, illetve teljesítménye, a kilökött vér mennyisége, az érfal rugalmassága, az erek ellenállása, a vér viszkozitása, és a mindezeket szabályozó idegi-hormon hatások, amelyek a szabályozó szerepét töltik be. A vérnyomás mérésére több módszer is rendelkezésünkre áll, leggyakrabban a klasszikus mandzsettás-elszorításos Riva-Rocci módszert alkalmazzák, amellyel jó pontossággal határozható meg a szisztolás és diasztolés vérnyomás.

Az EKG vizsgálat a fentiekhez képest idő és költségigényesebb, azonban információ tartalma is sokkal gazdagabb, továbbá szintén noninvazív metodika. Az EKG jelet a testfelszínre helyezett elektródák segítségével mérjük, az elektródokról a mérőerősítő bemeneteire kerülő elektromos jel nagyon részletes leírója a szív állapotának – ugyanis a szív elektromos és mechanikai jellemzői igen szoros kapcsolatban állnak –, így segítségével számtalan, az életre közvetve és közvetlenül veszélyes elváltozás felismerhető, és idejében kezelhető. Mivel a fejlett világ halálozási rátáiban a szív rendellenességei előkelő helyet foglalnak el, nagyon fontos lenne, hogy az EKG egy széles körben elterjedt, rutin szűrővizsgálattá váljon, akárcsak a vérnyomásmérés. Az olyan, otthon, szakértelem nélkül is használható szűrő berendezések, mint a BME MIT-en fejlesztett HMMD jelentős jövő előtt állnak az egészségügyi szűrővizsgálatokban, ha sikerül a berendezések árát és megbízhatóságát megfelelő szintre fejleszteni.

A mérés során azonban tapasztaltuk, hogy még a mérnöki szemmel egyszerű vérnyomás és pulzus jelek megbízható rögzítése és feldolgozása is nehezzé válhat, ha azokat a mindennapi életüket élő, tevékeny – „izgó-mozgó” – emberekről, a laboratóriumi és szimulált világhoz képest lényegesen komplexebb körülmények

között kívánjuk rögzíteni. A már önmagában is bonyolultabb EKG jel in vivo, pláne otthoni mérése pedig számos olyan kihívást tartogat, ami még hosszú ideig szolgáltatathat témát az egészségügyi mérnököknek.

### ***A mérés célja***

HMMD segítségével a felvett EKG és PPG jelek vizsgálata MATLAB környezetben, ezek összehasonlítása különböző fizikai aktivitás és változó légzés mellett.

### ***A méréshez felhasznált eszközök***

Személyi számítógép, HHMD 2: integrált készülék vérnyomás mérésére, Eidhoven I-es elvezetésű EKG és PPG jelek felvételére. (A készülék csatornánként 1000 minta/másodperc gyakorisággal és 12 bites felbontással rögzíti a jeleket).

A mérések vizsgálatához használt MATLAB kódot annak hossza miatt nem a jegyzőkönyvben adtuk meg, hanem mellékeljük a használt fájlt.

# Regisztrátumok felvétele

## *Mérési eljárás*

A mérőcsoport mind a három tagjának Einthoven I-es EKG-ját, valamint bal és jobb mutatóujjának PPG jeleit az alábbi protokollok szerint rögzítettük:

Általában véve a HHMD használati utasítása szerint jártunk el, azaz az alkar az eszközön, a tenyér az EKG elektródákon nyugodott. Ezen felül támlás irodai széket használtunk, mely megtámasztotta az alany hátát, azonban a könyökét nem, így az alkar stabilitását az biztosította, hogy majdnem teljesen az eszközön, valamint az 1-5. mérések esetében a kar egy része az asztalon nyugodott. A mérések előtt az EKG elektródákat csapvízzel enyhén megnedvesítettük.

A kiírt feladatok kérdéseinek megválaszolásához a konkrét mérések protokolljai a következők voltak:

**1.** A mérőcsoport tagja 30 másodpercen keresztül normál légzést végez, majd ezt követően 30 másodpercen keresztül időkorláthoz nem kötötten mélyebb, lassabb ritmusú belégzést végez. Ezután ismét 30 másodperc normál légzés rögzítettünk.

**2.** A mérőcsoport tagja 30 másodpercen keresztül normál légzést végez, majd 30 másodpercen át erőltetett, nagyjából 1-2 Hertzes frekvenciával lélegzik (hyperventillál). Ezután ismét 30 másodperc nyugalmi légzés következik.

Ennél a feladatnál fontos megjegyezni, hogy a 30 másodperces erőltetett légzés megterheli a szervezetet, a szén-dioxid kimosódás miatt megváltozik a vér pH-ja, ami szédülést és tudatszűkülést okozhat. Emiatt a feladat óvatosságot kíván mind a résztvevőtől, mind a felügyelőktől, valamint fokozottan előfordulhat, hogy az erőltetett légzés és a koncentráció csökkenésének együttes eredményeként a mérési kontaktpontok el-elmozdulnak.

**3.** A mérőcsoport tagja 30 másodpercen keresztül normál belégzést végez, majd ezt követően 30 másodpercen keresztül ütemezett belégzést végez: belégzésre a 30. másodperctől kezdve a 60. másodpercig 5 másodpercenként kerül sor. Ezt követően ismét 30 másodperc normál légzést végez.

**4.** A mérőcsoport tagja 30 másodpercen keresztül normál belégzést végez, majd ezt követően 30 másodpercen keresztül visszatartja lélegzetét. Ezt követően ismét 30 másodperc normál légzést végez.

**5.** A mérőcsoport tagja erőteljes fizikai aktivitást végez: 30 méter futás, majd egy emelet lépcsőzés előbb le, azután fel. Ezután ismét 30 méter sprint, majd 10 fekvőtámasz. Ha ezzel végzett, a lehető legrövidebb idő alatt visszaül a mérőszékbe, és ezután 60-70 másodpercig igyekszik légzését konszolidálni, miközben a mérési adatokat felvesszük.

**6.** A mérőcsoport tagjáról nyugalmi helyzetben a HHMD saját protokollja szerint regisztrátumot készítettünk, amelyhez a vérnyomásmérő mandzsettát a bal felkarra helyeztük úgy, hogy annak alja a könyökhajlattól 1-2 centiméterre legyen, a cső pedig a könyökhajlat felé a kar nagy artériájának irányának megfelelően fusson ki.

## ***Mérések dokumentálása***

### **1. mérés**

A mérések nyers adatait a <mero\_keresztneve\_ekezeteknelkul>\_I.hhm fájl tartalmazza.

A mérések során rögzítettük, hogy az ütemezetlen mélylégzések során az alanyok mikor váltottak belégzésből kilégzésbe. Szerettük volna a kilégzésből belégzésbe váltást is mérni, azonban ennek megítélése a nyugalmi mélylégzés kilégzési fázisának folyamatosan lassuló volta, valamint a ki- és belégzés között tartott szünetek miatt túl bizonytalan volt.

### **A légzési fázisváltások (be >> ki):**

Béla: 32., 37., 43., 50., 55., 60. másodpercben.

Dani: 34., 43., 56. másodpercben.

Dávid: 38., 49., 61., 71. másodpercben.

## **2. mérés**

A mérések adatait a <mero\_keresztneve\_ekezetek\_nelkul>\_II.hhm fájl tartalmazza.

A mérések során zavart jelentett, hogy Bélát a mérés előtt mérőtársa felbosszantotta, így a mérés eleje nem tekinthető maximálisan nyugalminak.

Dávid mérése során a PPG jel többször is gyenge volt, vagy kiült, feltehetően amiatt, hogy Dávid nagyobb keze miatt nehezen talált olyan pozíciót, ahol az EKG elektródok és a PPG kontakt is megfelelő lett volna.

## **3. mérés**

A mérések adatait a <mero\_keresztneve\_ekezetek\_nelkul>\_III.hhm fájl tartalmazza.

Dani mérése során valamikor 40 másodperc környékén a belégzés üteme elcsúszott, azaz a 44, illetve 49 másodpercben voltak a belégzések.

## **4. mérés**

A mérések adatait a <mero\_keresztneve\_ekezetek\_nelkul>\_IV.hhm fájl tartalmazza.

A mérések során zavaró körülmény nem merült fel.

## **5. mérés**

A mérések adatait a <mero\_keresztneve\_ekezetek\_nelkul>\_V.hhm fájl tartalmazza.

Mértük, hogy az egyes hallgatók milyen gyorsan hajtották végre az előírt 30 méter sprintet, egy emelet le és egy emelet felfelé lépcsőzést, újabb 30 méter sprintet, valamint a 10 fekvőtámaszt. Ezután azt is mértük, mennyi idő ellik el a fekvőtámasz befejezése és a regisztráció indítása között.

Az eredmények:

*Dávid:* 32 másodperc alatt végzett, és további 7 másodperc telt el a mérés elindításáig.

*Dani:* 33 másodperc alatt végzett, és további 7 másodperc telt el a mérés elindításáig.

*Béla:* 41 másodperc alatt végzett, és további 6 másodperc telt el a mérés elindításáig.

## 6. mérés

A mérések adatait a <mero\_keresztneve\_ekezetek\_nelkul>\_VI.hhm fájl tartalmazza.

A mérések mentesek voltak a különleges eseményektől.

## Regisztrátumok feldolgozása

A regisztrátumokat a megadott letölthető Matlab hhmbinread függvény segítségével olvastuk be, ezt követően pedig az EKG jelek értékét mV-tá, a PPG jelek értékét pedig Hgmm-ré alakítottuk a jegyzetben szereplő módon. (A mellékelt Matlab kód első, <nevezektan, beolvasas, adatkonverzio (mertekegysegadas)> fejezetének <extract data> részében található megoldásunk.)

A regisztrátumokat a jobb kiértékelhetőség és a könnyebb ábrázolás érdekében szűrtük és transzformáltuk az alábbiak szerint:

### **EKG:**

A mV-ban kinyert jelet egy 0,15 Hz töréspontú, negyedfokú, felül áteresztő és egy 40 Hz töréspontú, ötödfokú, aluláteresztő Butterworth szűrővel szűrtük. Előbbi az alapvonal ingadozást korrigálja elfogadható mértékben, utóbbit az izomzaj kiküszöbölésére használtuk. Ezen kívül 48 és 52 Hz közé eső, ötödfokú Butterworth szűrőt is alkalmaztunk direkt a hálózati áramból származó zajok szűrésére, de ennek hatása az alul áteresztő szűrő után már csekély. Ezen megoldások nem törekedtek tökéletességre, csupán minél hamarabb szerettünk volna értékelhető jelalakhoz jutni.

A harmadik feladathoz az EKG jelet  $\mu$ V-ba váltottuk át.

Az első és 3. mérés grafikonjain függőleges vonalakként jelennek meg a méréseknél említett, dokumentált belégzések, illetve belégzés-kilégzés fázisváltások.

### **PPG:**

A PPG jel minden egyes pontjából kivontuk a pontok átlagát, ezzel egy DC korrekciót végeztünk el, hogy a Fourier analízis során kiküszöböljük a DC komponenst.

Az 5. feladatban azonban egy mesterséges, 2000-es offsetett adtunk hozzá a korrigált jelhez, hogy a grafikonon jobban láthatóak legyenek a változások. Mivel a PPG jel mértékegysége amúgy is [1], csupán a görbe amplitúdója és alakja érdekes, ezért ezt nyugodtan megtehetjük.

Az első és 3. mérés grafikonjain függőleges vonalakként jelennek meg a méréseknél említett, dokumentált belégzések, illetve belégzés-kilégzés fázisváltások.

A második feladathoz az 1. és 5. mérés (nyugalom, fizikai megterhelés) első 20 s-át, a 3. és 4. mérés (ütemezett, illetve visszatartott légzés) 35-55 s-át Fourier-transzformáltuk a jel frekvenciatartalmának vizsgálatához.

### **Mandzsettanyomás:**

A nyomást a 6. feladathoz tized Hgmm-be váltottuk át, hogy egy skálán lehessen ábrázolni az EKG-vel és a PPG-vel.

## 1. feladat

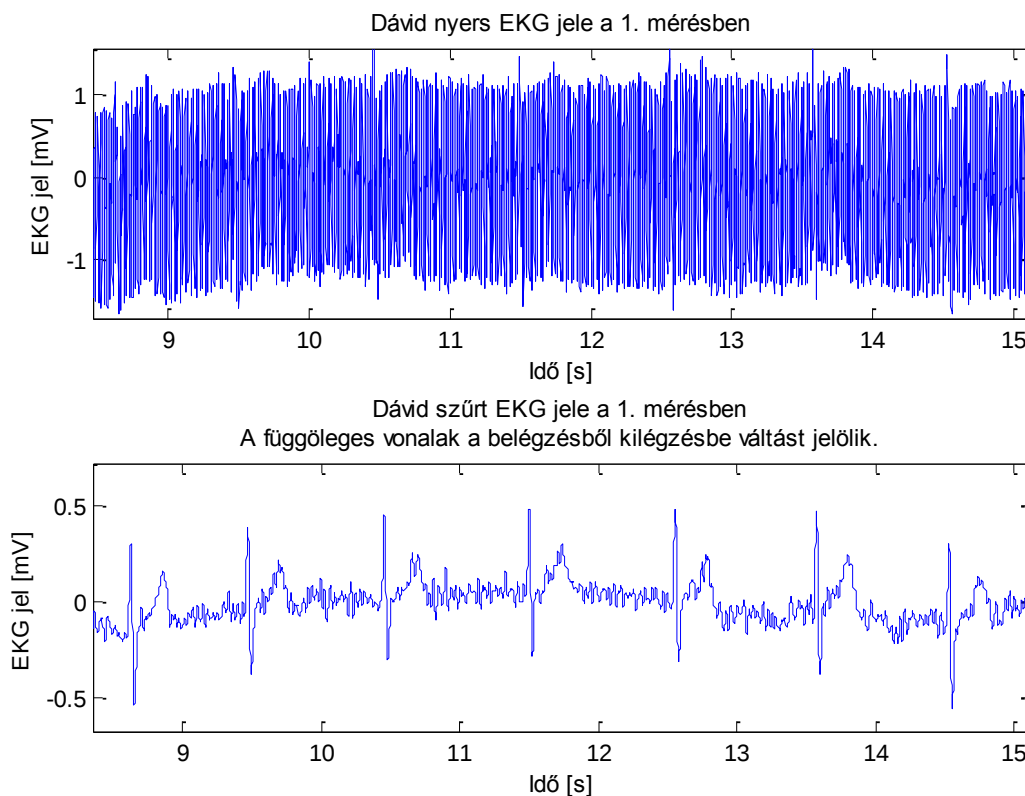
Készítsenek a HHMD-t felhasználva egy 100 másodperc hosszú regisztrátumot a mérőcsoport minden tagjáról, nyugalmi helyzetben, a mandzsetta felfújást kikapcsolva. Vizsgálják meg:

- a légzés hatását a szívfrekvenciára,
- a légzésfrekvencia illetve a szívfrekvencia állandóságát.

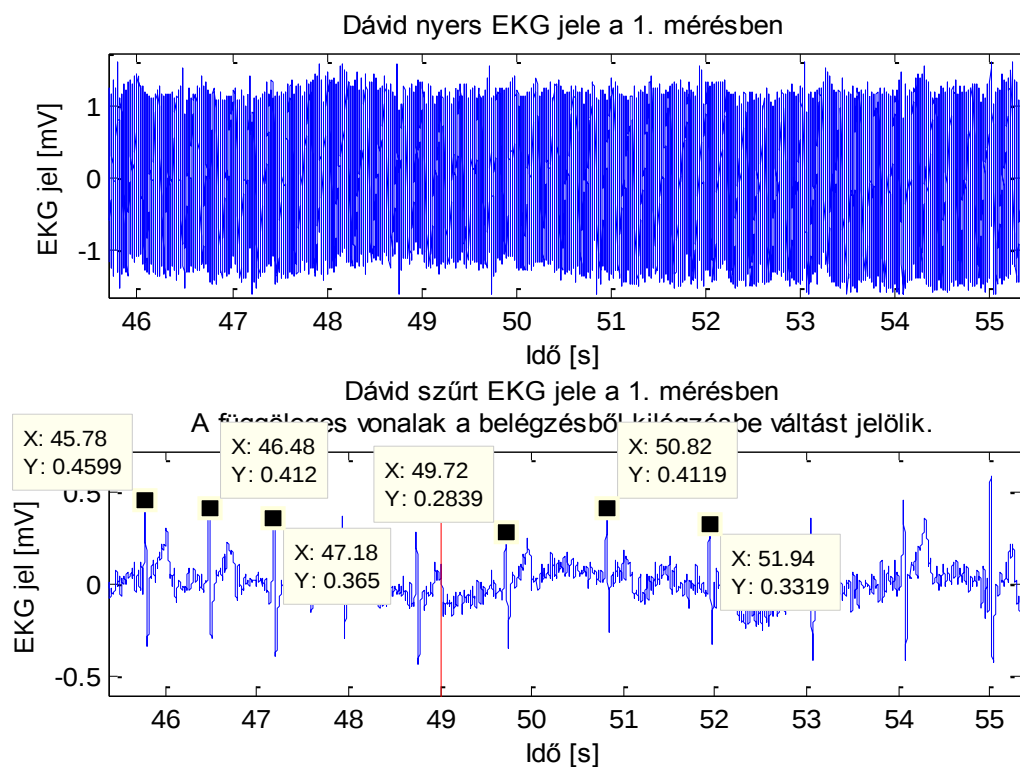
Az alábbi ábrák a mérőcsoport tagjairól felvett nyers, illetve szűrt EKG jeleket mutatják. Az RR csúcsok távolságát figyelve következtethetünk a szívfrekvenciára.

A felvételek jól demonstrálják, mennyire fontos az EKG kiértékelésében a megfelelő jelfeldolgozási algoritmus megválasztása. Szűrés nélkül a jelek értékelhetetlenek, azonban a rosszul megválasztott szűrés torzíthatja a hasznos információt.

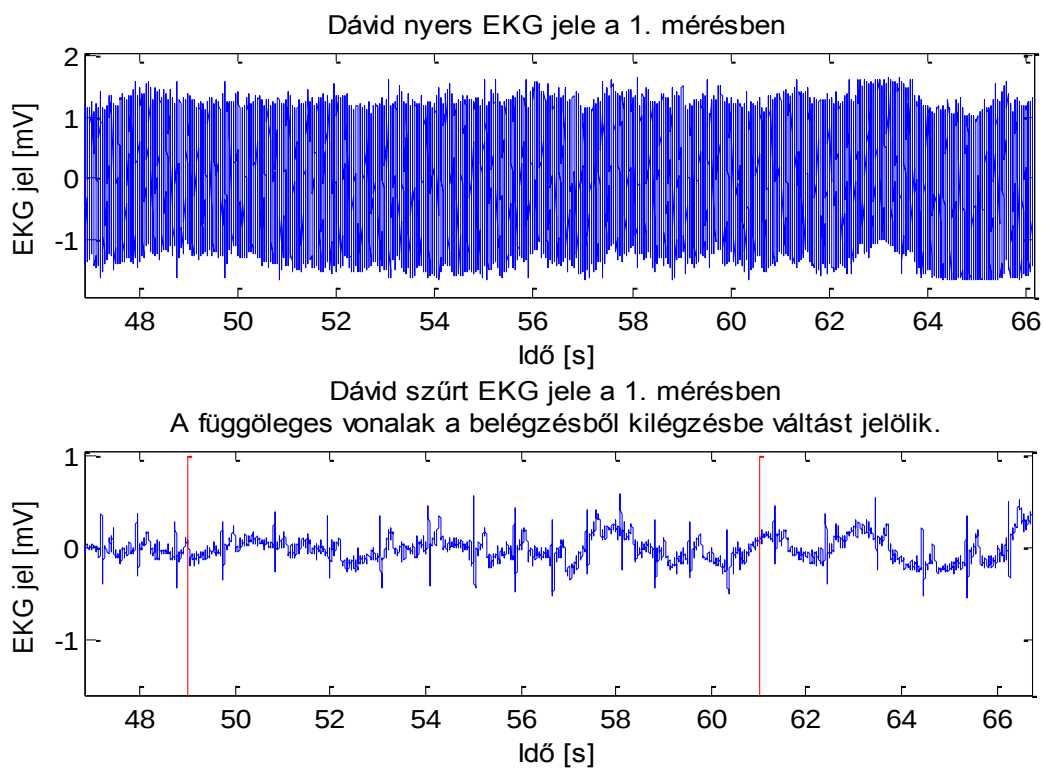
A zajos EKG jelek szűrésére a Regisztrátumok feldolgozása címszó alatt részletezett módon jártunk el. A következőkben Dávidon mért eredményeket mutatjuk be, de a mérőcsoport többi tagjainál is hasonló megfigyeléseket tettünk, így megfigyeléseink a mérőcsoporton belül általánosnak mondhatók.



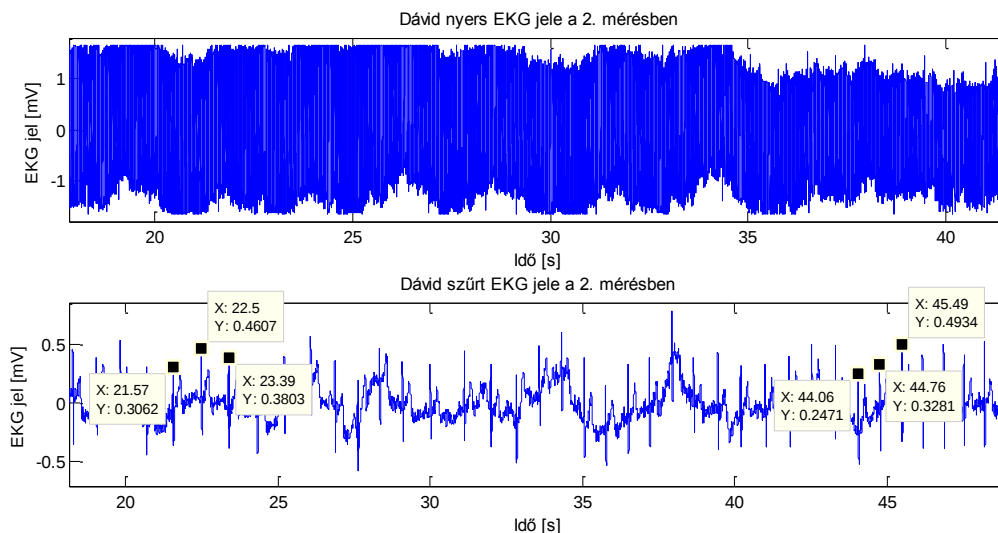
1. ábra: Dávid nyugalmi nyers és szűrt EKG jeleinek egy részlete. Jól látszik a QRS és a T hullám.



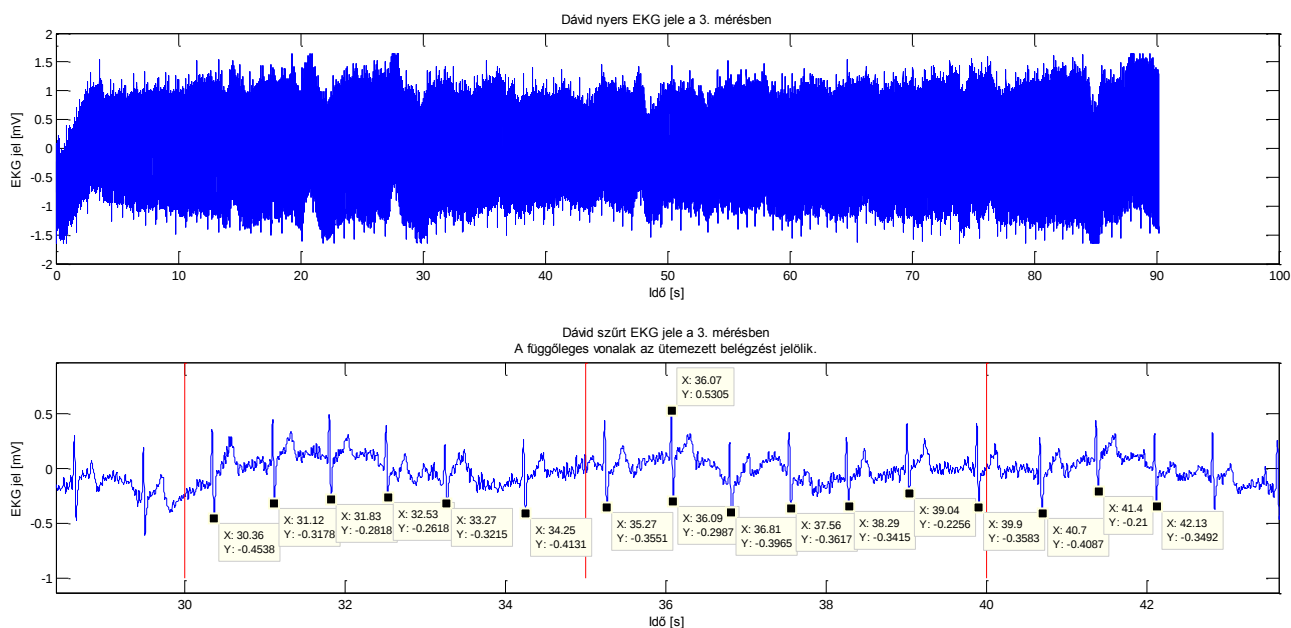
2. ábra: Dávid EKG jelének változása légzés hatására: mély kilégzéskor nő a QRS távolság, azaz csökken a frekvencia.



3. ábra: az előző jelenség nagyobb időablakkal vizsgálva.



**4. ábra: Dávid nyers és szűrt EKG jele a harmadik mérésben. Látható, hogy a 30. másodperctől kezdődő hiperventilláció megemelte a szívfrekvenciát.**



**5. ábra: ütemezett (5 másodpercenkénti) légkéz hatása az EKG-ra: a kilégzés végére a szívfrekvencia csökken, belégzéskor nagyjából állandó.**

A szívfrekvenciát a szív mozgásának két legközelebbi azonos fázisa között eltelt idővel jellemezhetjük, amit legkönnyebben az Einthoven I-es elvezetésben a legnagyobb amplitúdójú csúcs – az R csúcs – megfigyelésével tehetjük meg. Ennek megfelelően a szívfrekvenciát az RR (időbeli) távolságának feleltetjük meg.

A légzési frekvenciát egyrészt megfigyeléseinkből, másrészt pedig a mechanikai mozgáshoz, illetve izommozgáshoz kapcsolódó EKG alapvonalcsúszás alapján határozhatjuk meg.

Nyugalomban, illetve ütemezett légzésnél a légzés- és a szívfrekvencia is állandónak tekinthető – ezt mutatja az RR csúcstávolság állandósága, illetve a légzéshez köthető alapvonalcsúszás hullámozása (ezt legjobban az utolsó ábrán figyelhetjük meg).

Minden esetben látható, hogy a légzésnek hatása van a szívfrekvenciára. A nyugodt, de mély belégzés hatására csökken az RR távolság, azaz nő a pulzus, ennek magyarázata a vagus tónus csökkenése lehet, valamint a negatív mellkasi nyomás mechanikai hatása. Kilégzésnél ennek fordítottja figyelhető meg.

Erőltetett ki-be légzés során a szívfrekvencia magasabb, mint nyugalmi állapotban. Mivel itt a légzésfrekvencia közelít a szívfrekvenciához, a szívfrekvencia – egyszerű elemzésünk alapján – a légzésfázistól függetlennek tűnik.

## 2. feladat

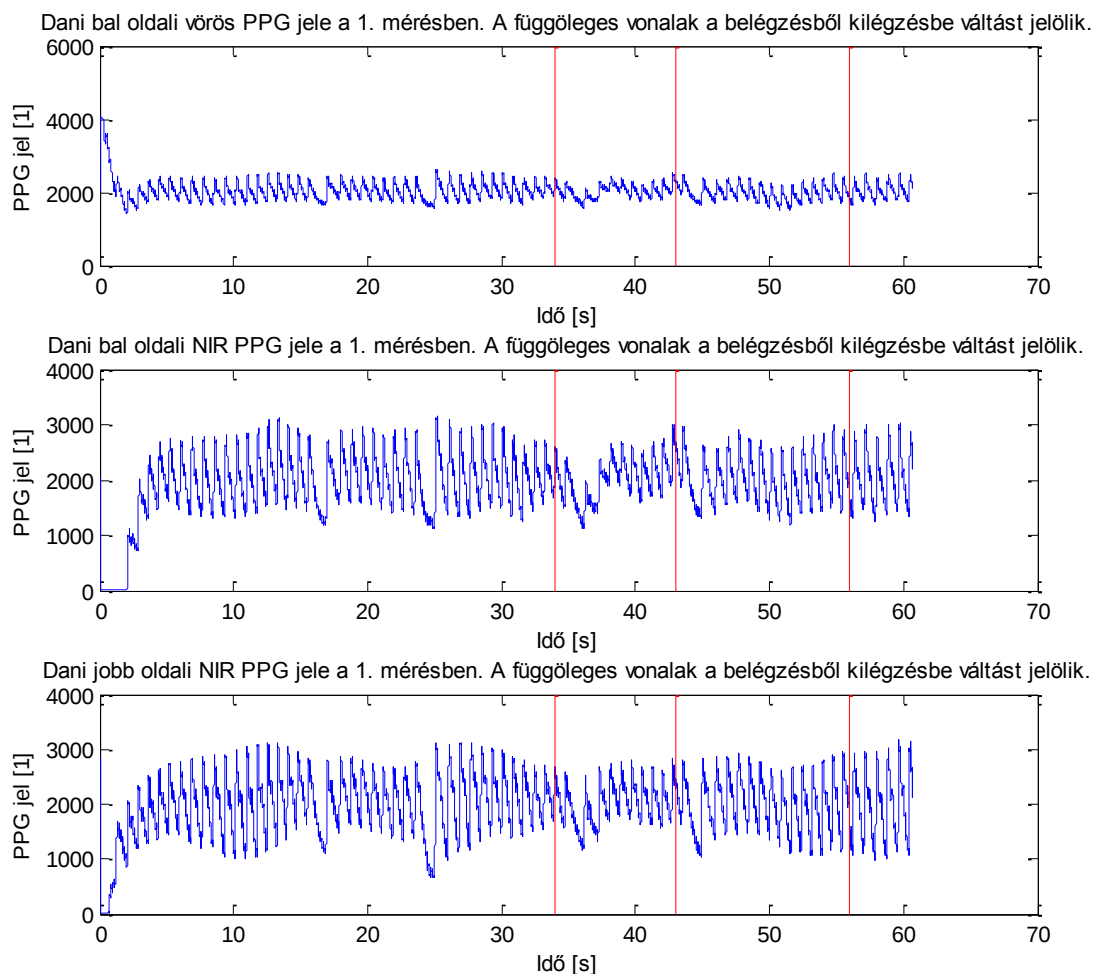
*Vizsgálják meg a PPG jel frekvenciatartalmát*

- *normál nyugalmi helyzetben,*
- *rövid fizikai igénybevételt (pl. 30 guggolás vagy 2 perc helyben futás) követően,*
- *visszatartott lélegzet mellett (legfeljebb 30 másodpercre),*
- *ütemezett légzés mellett (a vizsgált személy ütemező jelre – pl. 4 másodpercenként - kezdi el a belégzést)*

*Értékeljék a kapott eredményeket!*

A PPG jel esetében a legnagyobb amplitúdók Daninál voltak tapasztalhatóak az ő ujjának kontaktusa, lokális keringési viszonyai kedveztek a mérésnek, ezért az ő jelét mutatjuk be. (Természetesen a többiek jele is hasonlóképpen elemezhető, illetve hasonló eredményre juthatunk belőle.)

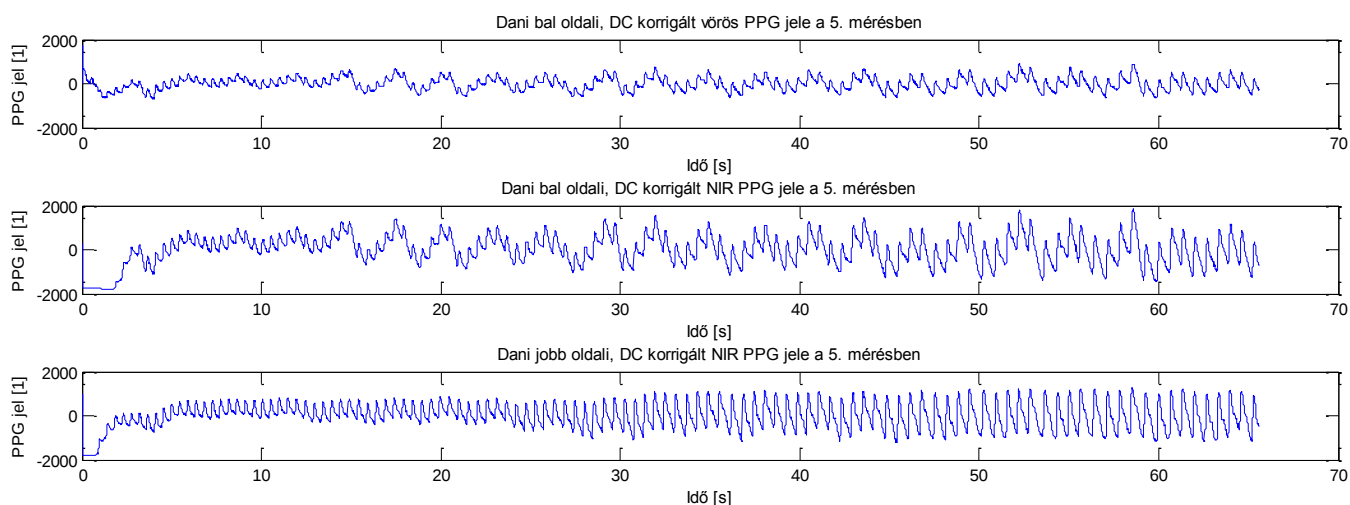
A következő ábra Daniról felvett PPG regisztrátumokat mutatják nyugalmi helyzetben. A belégzésből kilégzésbe történő váltást függőleges piros vonallal jelöltük.



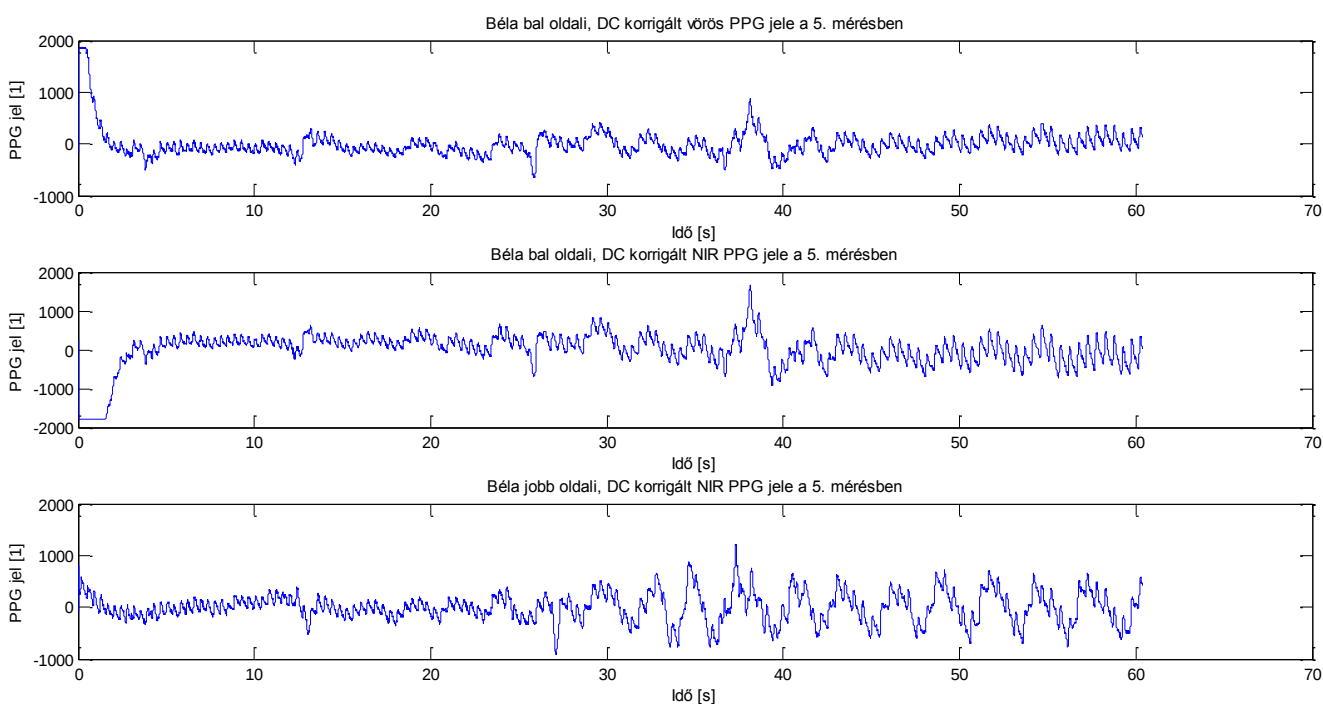
**6. ábra: Dani PPG regisztrátumai nyugalmi helyzetben**

Normál nyugalmi légzésnél csak a kilégzést követően figyelhető meg egy kis pauza a PPG jelben, szembetűnő frekvenciaváltozást ránézésre nem tapasztaltunk.

A következőkben a fizikai aktivitás után regisztrált PPG jel látható.



**7. ábra: Dani PPG jelei fizikai aktivitás után**

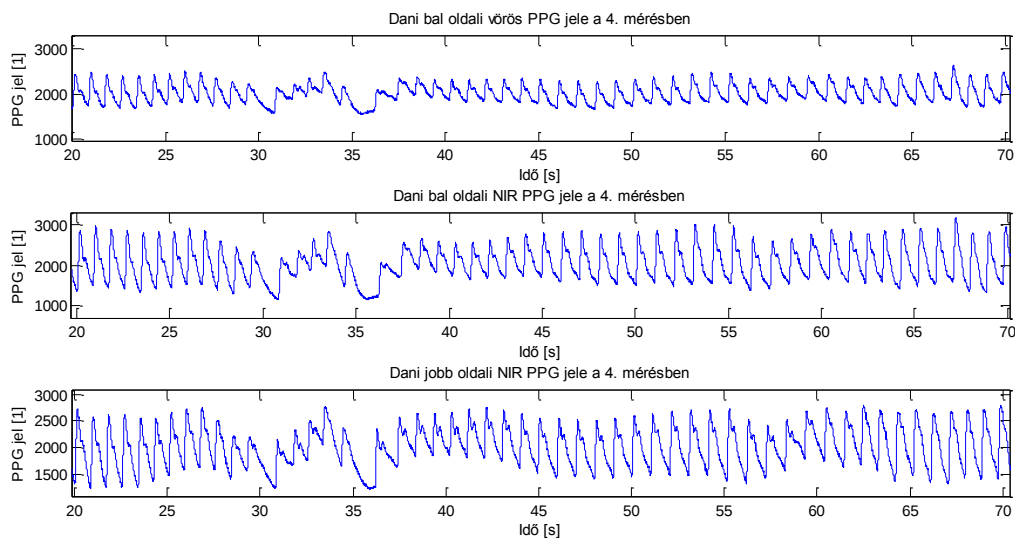


**8. ábra: Béla PPG jelei a fizikai aktivitás után**

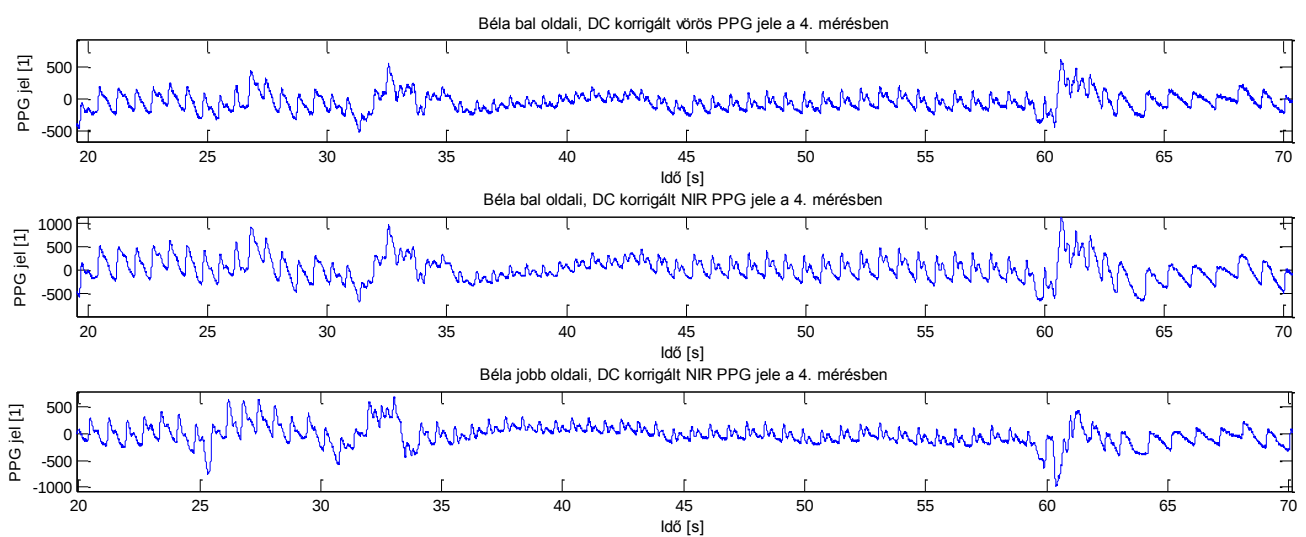
Fizikai aktivitás után minden mérésünkben megfigyelhető, hogy a PPG jel amplitúdója fokozatosan emelkedik feltételezésünk szerint annak megfelelően, ahogy a szervezet adaptálódni próbál az izmok oxigén szükségletéhez. Természetesen méréseinkben nem tudjuk kizárni annak lehetőségét sem, hogy a fizikai aktivitás hatására, illetve ennek kipihenése során más erővel nyomtuk ujjunkat a detektorra, sajnos ez a nehezen kontrollálható körülmény komolyan befolyásolja a mérést. Feltételezésünket

azonban alátámasztja, hogy Béla, esetén 40-50 másodpercnél megindul az újbóli amplitúdó csökkenés, ami fokozatosan közelít a nyugalmi állapothoz. Ez megfelelhet annak a megfigyelésünknek, hogy Béla nyerte vissza leghamarabb nyugalmi légzését, valamint ő pihente ki legkorábban az igénybevételt.

A légzés visszatartásának PPG-re kifejtett hatását a következő ábra mutatja. Kontrollként a 0-30 másodperces szakasz utolsó 10 másodpercét emeltük ki.



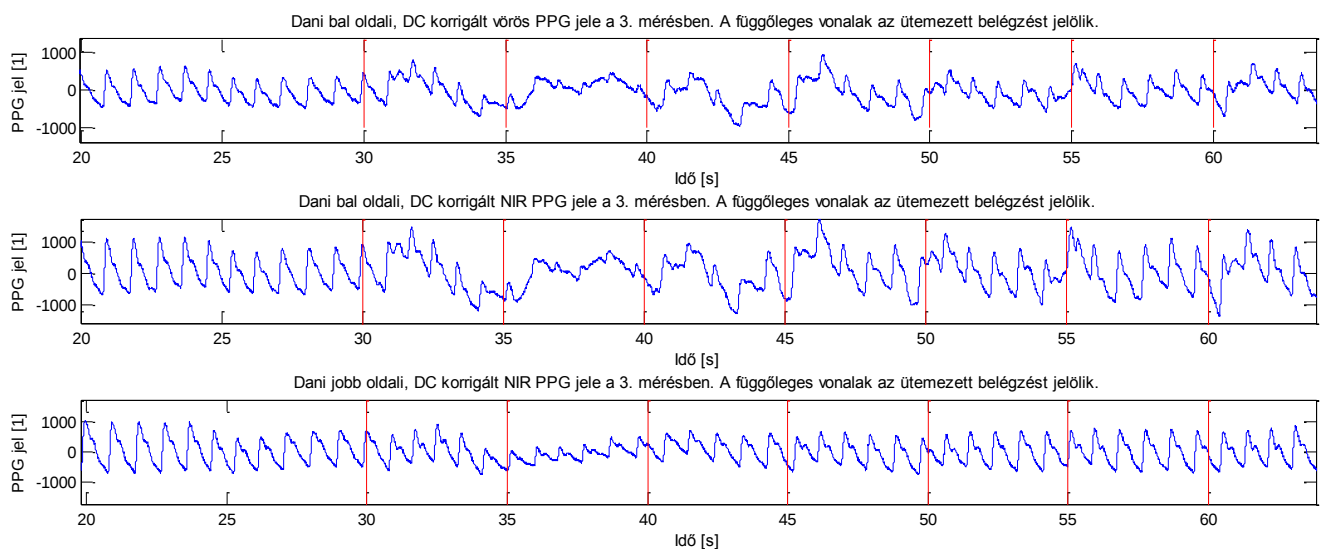
**9. ábra: Dani PPG jelei 30 másodperces légzésszünettel**



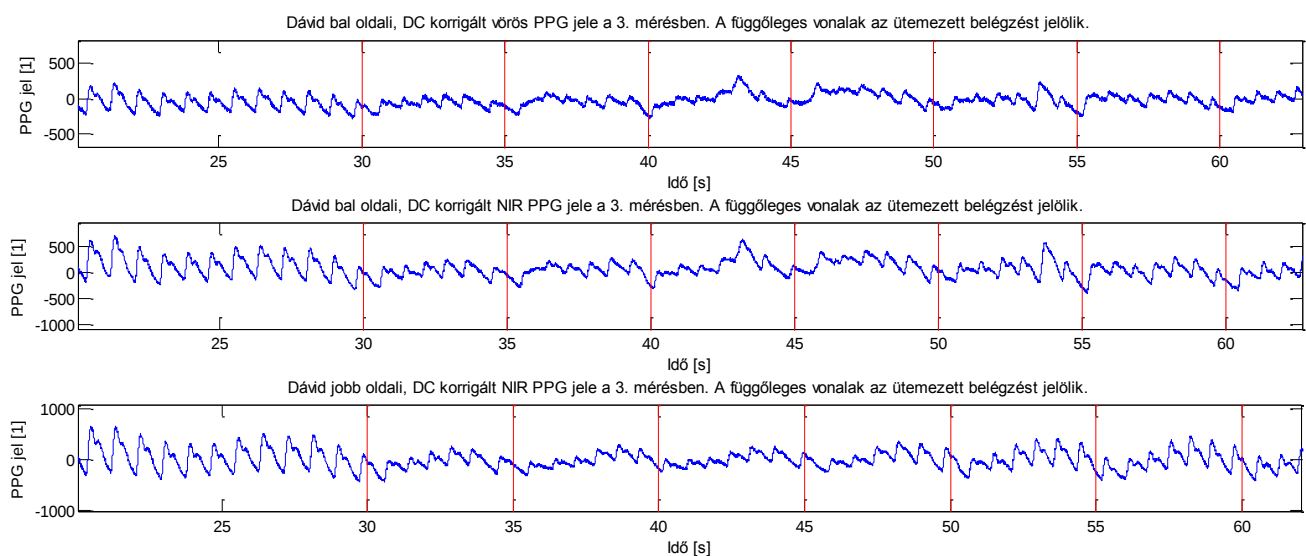
**10. ábra: Béla PPG jelei 30 másodperces légzésszünettel**

Jól látható, hogy a belégzéskor a PPG jelben törést tapasztalunk. Bár ez mindhárom mérésünkben így volt, nehéz megmondani, hogy élettani folyamatok, vagy a mély belégzést kísérő jelentős mellkas és felsőtestmozgásból eredő zaj a felelős érte. Feltehetően inkább az utóbbi esettel van dolgunk.

Az ütemezett légzés PPG-re kifejtett hatását a következő ábra mutatja – a jobb láthatóság kedvéért itt csak az ütemezett légzési szakaszt, illetve a normál kontroll utolsó 10 másodpercét emeltük ki.



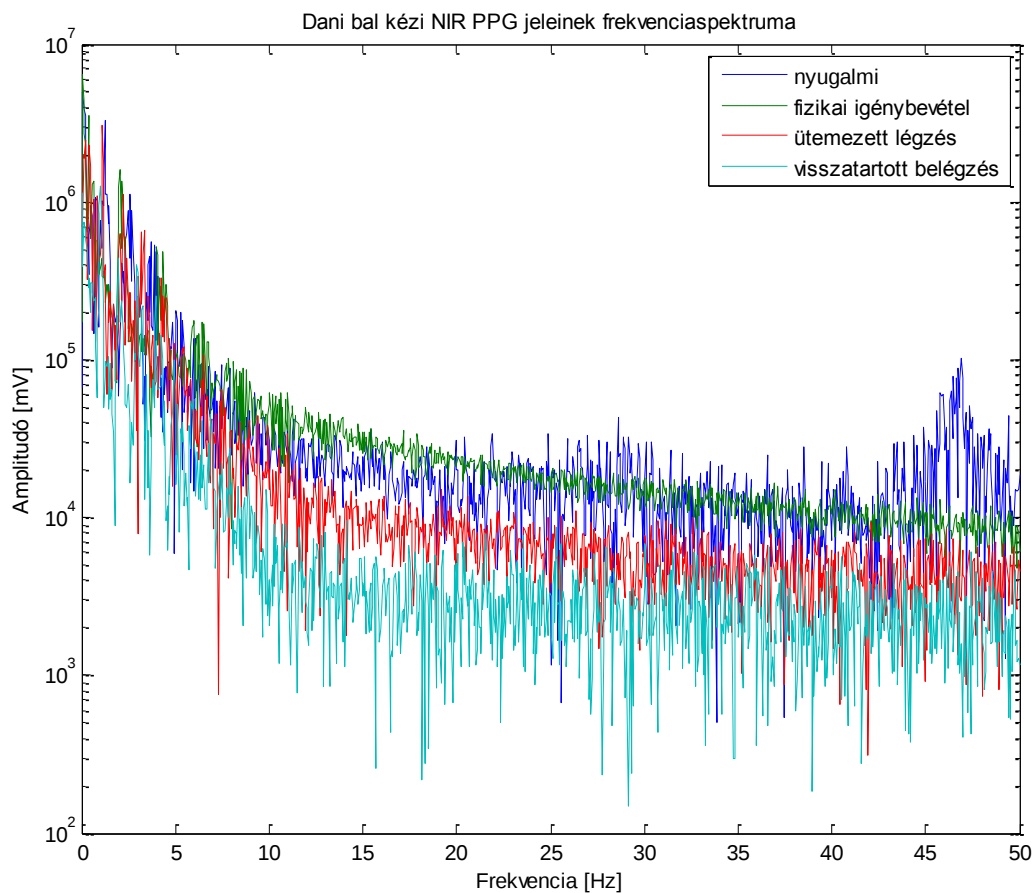
**11. ábra: Dani PPG jelei ütemezett belégzésnél**



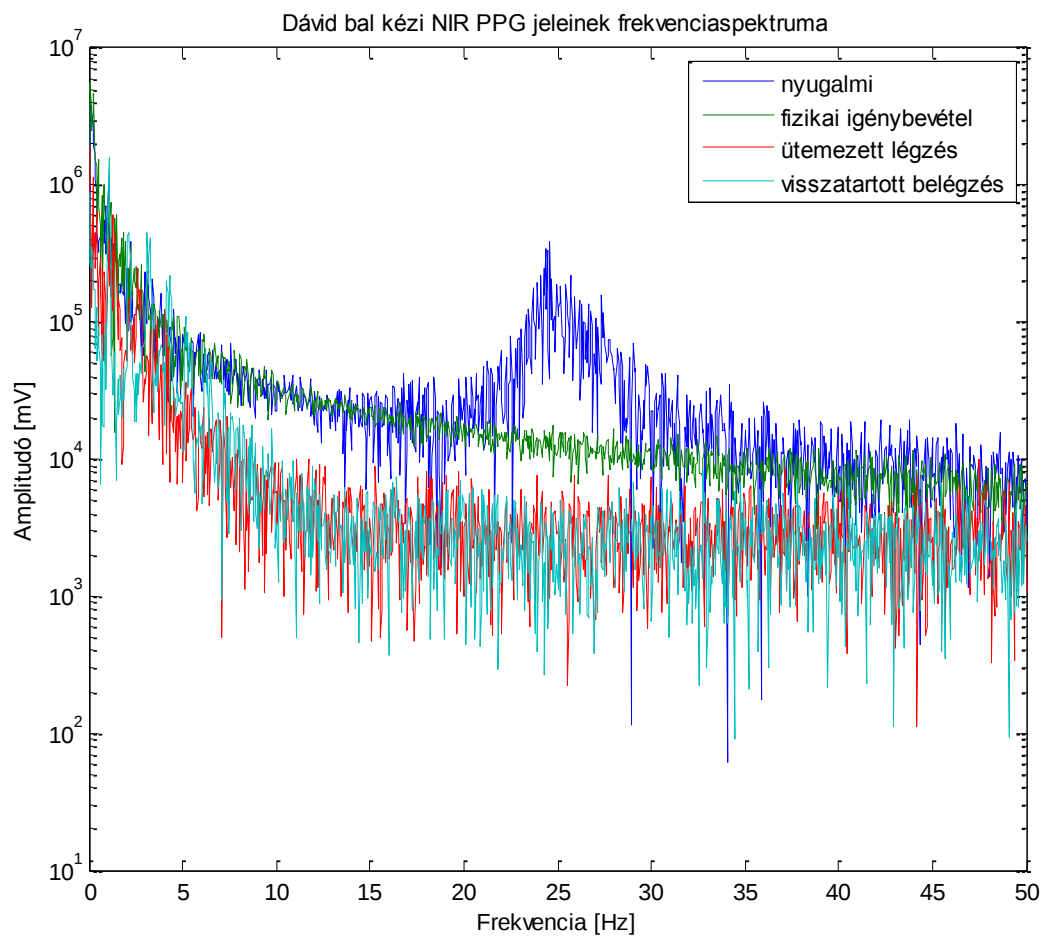
**12. ábra: Dávid PPG jelei ütemezett belégzésnél**

Az idő térben ábrázolt görbéken nem láttunk eltérést a pulzushullám frekvenciáját illetően, de ez természetesen jobban vizsgálható a frekvencia tartományban. Az adott mérések megfelelő tartományának (ld. Regisztrátumok feldolgozása alfejezet) frekvenciaspektruma látható.

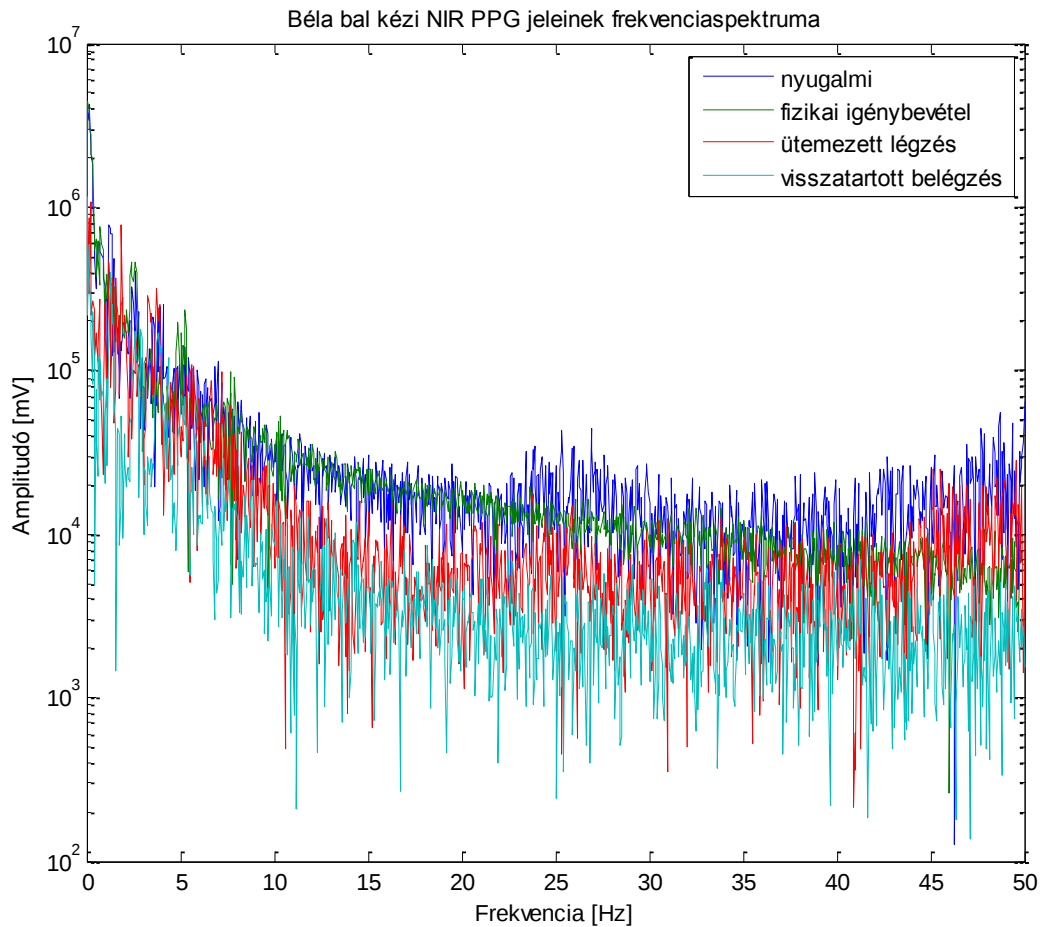
Mivel a különböző PPG jelek (vörös, NIR, jobb és bal) közt karakterisztikus eltérést nem tapasztaltunk, azonban jelentősek voltak az egyéni eltérések, ezért az alábbiakban mindhármunk bal NIR PPG spektrumát ábrázoltuk logaritmikus skálán.



**13. ábra: Dani PPG jeleinek frekvenciaspektruma**



14. ábra: Dávid PPG jeleinek frekvencia spektruma



**15. ábra: Béla PPG jeleinek frekvencia spektruma**

A legszembevetőbb, hogy ellentétben a többi regisztrátummal, melyek jellegre hasonlóak, a nyugalmi PPG spektrum kiugró magas frekvenciás tagokat tartalmaz. Különösen érdekes, hogy ezek a kiugrások egyénenként eltérőek: Dani regisztrátumában egy domináns, 45 Hz körüli kiugrás látható, míg 25 Hz körül egy kisebb csúcs van. Dávid regisztrátumában egy domináns 25 Hz körüli csúcs található, azonban 45 Hz körül nincs kiugrás. Béla regisztrátumában mind a 25, mind a 45 Hz körüli kiemelkedés megfigyelhető, azonban jóval kisebb mértékben.

Az, hogy ez a jelenség minek köszönhető, ilyen kis számú mérésből nem megítélhető, azonban az, hogy mindkét kéz infra és vörös PPG-je is ilyen viselkedést mutat az egyes hallgatóknál, valószínűsíti, hogy nem véletlenről van szó. Az eredmény legalábbis érdekes.

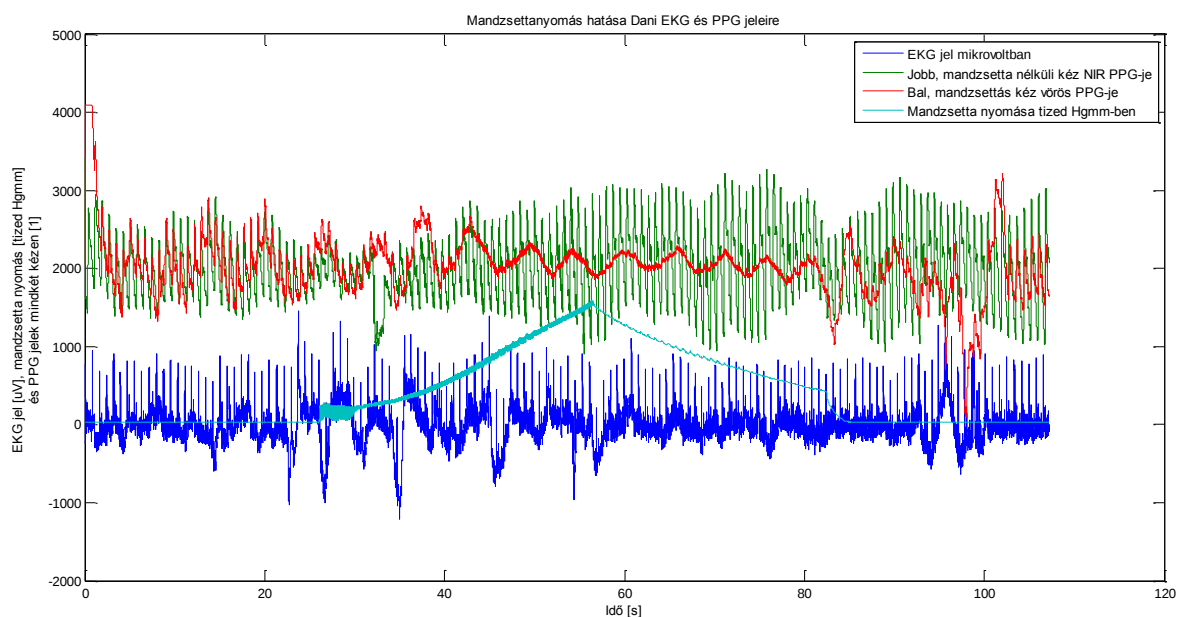
### 3. feladat

A mérőcsoport minden tagjáról készítsenek felvételt, a HHMD készülék vérnyomásmérő üzemmódjában (HHM ablak bejelölve). Értékeljék a mérést:

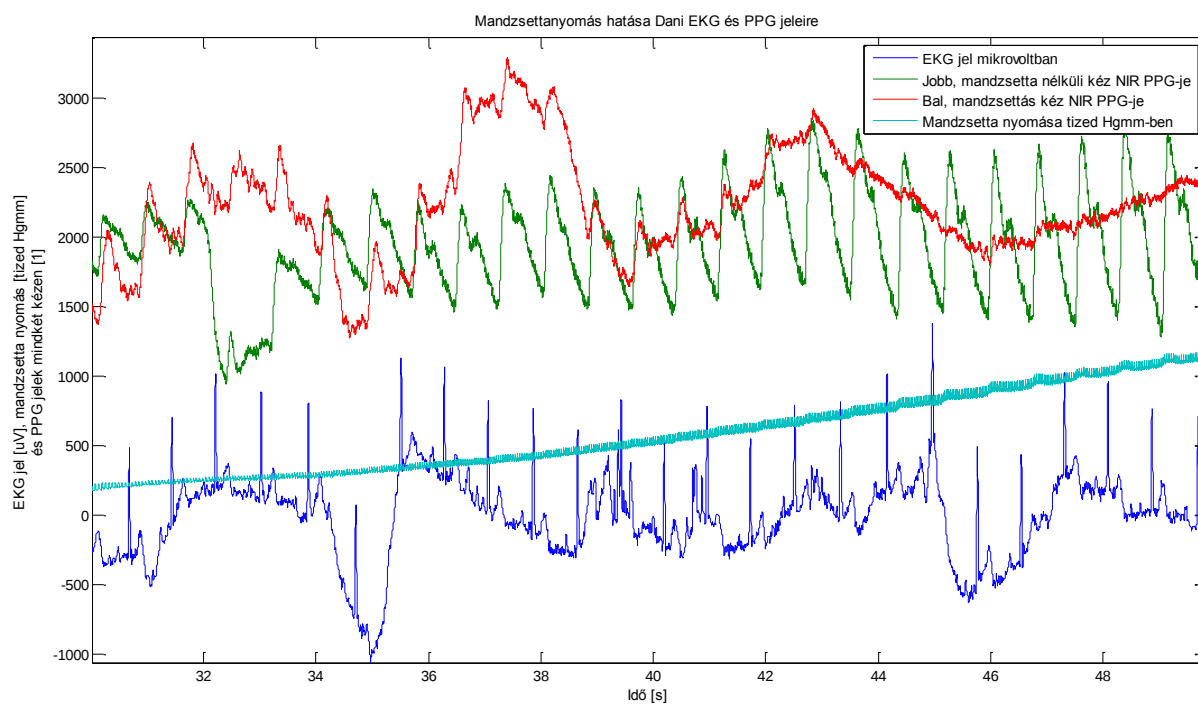
- hogyan változik az EKG és a PPG közti késleltetés a mandzsettanyomás emelkedésekor,
- hogyan változik a PPG jel, amikor a mandzsettanyomás megközelíti a szisztolés nyomást.

A feladathoz kapcsolódóan a következőkben Danin mért eredményeinket mutatjuk be, de a mérőcsoport többi tagjainál is hasonló eredményt találtunk, így következtettünk az alább írtakra.

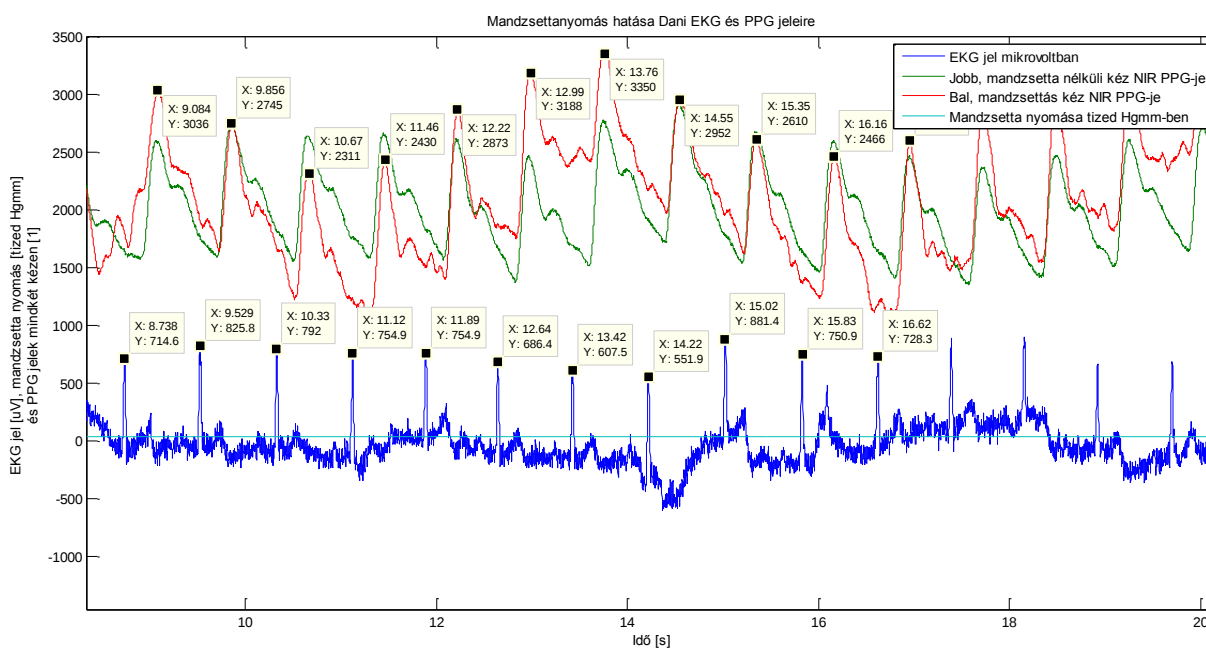
A késleltetés vizsgálatához a nem korrigált PPG jeleket használtuk, ugyanis így jobban jelölhető a késés bemutatása az ábrán. A bal oldali PPG jelek közül a jobb oldalinak megfelelő NIR-t tüntettük fel, ugyanis ez a jobb oldaléhoz, mint referenciához könnyebben hasonlítható. Az R csúcs és a PPG hullám maximumának helyét (időpontját) vetettük össze nyugalmi (0 Hgmm) és emelkedő mandzsettanyomás esetében.



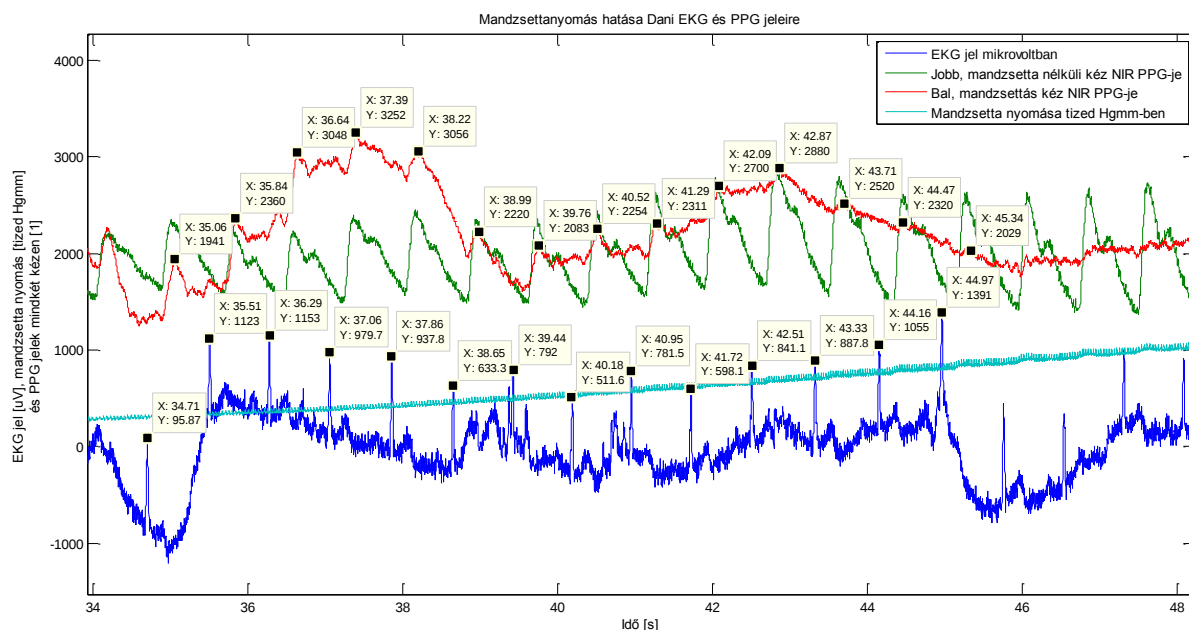
16. ábra: Mandzsettanyomás hatása Dani EKG és PPG jeleire – a protokoll teljes időablakában



17. ábra: Emelkedő mandzsettanyomás hatása a PPG jelre



18. ábra: Pulzushullám késése 0 Hgmm-nél



19. ábra: Pulzushullám késése emelkedő nyomás hatására

A nyomás emelése mellett tapasztalható, hogy a pulzushullám amplitúdója fokozatosan csökken, majd a pulzushullám „eltűnik”.

Jól látható, hogy a PPG jel felhasználásával közvetlen mérhető a szisztolés érték, ezt a pulzushullámra jellemző tüskék hiánya egyértelműen kijelöli.

Mivel az emelkedő nyomás a bal kézen mérhető pulzushullám egyre kevésbé detektálható, ezért a pulzushullám kését csak a szisztolés vérnyomás eléréséig vizsgálhatjuk.

A bemutatott szakaszokon a következő értékeket mértük:

| Nyugalomban        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| EKG (s)            | 8,738 | 9,529 | 10,33 | 11,12 | 11,89 | 12,64 | 13,42 | 14,22 | 15,02 | 15,83 |       |       |       |       |
| PPG (s)            | 9,084 | 9,856 | 10,67 | 11,46 | 12,22 | 12,99 | 13,76 | 14,55 | 15,35 | 16,16 |       |       |       |       |
| Időkülönbség (ms)  | 346   | 327   | 340   | 340   | 330   | 350   | 340   | 330   | 330   | 330   |       |       |       |       |
| Emelkedő nyomásnál |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| EKG (s)            | 34,71 | 35,51 | 36,29 | 37,06 | 37,86 | 38,65 | 39,44 | 40,18 | 40,95 | 41,72 | 42,51 | 43,33 | 44,16 | 44,97 |
| PPG (s)            | 35,06 | 35,84 | 36,64 | 37,39 | 38,22 | 38,99 | 39,76 | 40,52 | 41,29 | 42,09 | 42,87 | 43,71 | 44,47 | 45,34 |
| Időkülönbség (ms)  | 350   | 330   | 350   | 330   | 360   | 340   | 320   | 340   | 340   | 370   | 360   | 380   | 310   | 370   |

Bár az értékek átlaga eltérő (336, illetve 346 ms), ez a különbség nem szignifikáns a vizsgált minták alapján (Mann-Whitney U teszt:  $p=0,15$ ).