

Telekomunikazio Teknologiaren Ingeniaritzako Gradua

GRADU AMAIERAKO LANA

***QRS DETEKTORE AUTOMATIKOAK BIHOTZ-
GELDIALDIETAKO ERRITMO
ERREGULARRENTZAT***

Ikaslea: DE LUIS RUIZ, LIDIA

Zuzendaria (1): ARAMENDI ECENARRO, ELISABETE

Zuzendaria (2): ALONSO GONZÁLEZ, ERIK

AURKIBIDEA

LABURPENA	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
LABURDUREN ZERRENDA	7
TAULEN ZERRENDA	8
IRUDIEN ZERRENDA	9
1. SARRERA.....	12
2. TESTUINGURUA	13
3. HELBURUAK.....	16
3.1. Helburu nagusia	16
3.2. Helburu partzialak.....	16
3.2.1. Datu-basea definitu	16
3.2.2. QRS detektore klasikoak inplementatu.....	16
3.2.3. Algoritmoen zehaztasunak estatistikoki ebaluatu	16
3.2.4. Short-Time algoritmoa garatu, optimizatu eta ebaluatu.....	17
4. ONURAK	18
4.1. Onura sozialak	18
4.2. Onura zientifikoak	18
4.3. Onura teknikoak.....	19
4.4. Onura ekonomikoak.....	19
5. ARTEAREN EGOERA.....	20
5.1. Pan-Tompkins algoritmoa.....	20
5.2. Hamilton-Tompkins algoritmoa	22
5.3. SQRS algoritmoa	22
5.4. GQRS algoritmoa	23
5.5. WQRS algoritmoa.....	23
6. METODOLOGIA.....	26
6.1. Datu-basea sortzearen prozesua.....	26
6.2. Datu-basea kudeatzeko tresna.....	28

6.2.1.	Zehaztapenak	28
6.2.2.	Funtzionamendua	30
6.3.	QRS detektore klasikoak frogatzeko tresna	30
6.3.1.	Zehaztapenak	31
6.3.2.	Funtzionamendua	32
6.4.	Short-Time QRS (ST-QRS) detektorea	33
6.4.1.	Eskema orokorra	33
6.4.2.	Algoritmoaren optimizazioa	34
6.5.	Emaitzak	38
6.5.1.	Emaitzen fidagarritasun neurketak	38
6.5.2.	Algoritmoen emaitzak	39
7.	PLANGINTZA	41
7.1.	Lan-taldea	41
7.2.	Lan paketeen deskribapena	41
7.2.1.	LP 1 Proiektuaren kudeaketa eta gainbegiraketa	41
7.2.2.	LP 2 Proiektuaren prestaketa	42
7.2.3.	LP 3 Datu-basearen definizioa	43
7.2.4.	LP 4 QRS detektore klasikoen azterketa	44
7.2.5.	LP 5 Algoritmo klasikoen emaitza estatistikoak kalkulatu	44
7.2.6.	LP 6 ST-QRS detektorearen optimizazioa eta ebaluaketa	45
7.2.7.	LP 7 Dokumentazioa	46
7.3.	Mugarriak	46
8.	GASTU AITORPENA	48
8.1	Kostuak	48
8.1.1	Barne orduak	48
8.1.2	Amortizazioak	48
8.1.3	Azpi-kontratazioak	49
8.1.4	Gastuak	49
8.2	Gutzizko kostu aitortpena	49
9.	ARRISKU ANALISIA	50

9.1.	Datuen galera (A).....	50
9.2.	Atzerapenak (B).....	50
9.3.	Arazo teknikoak garatutako tresnekin (C).....	51
9.4.	Langileen bajak (D)	51
9.5.	Prozesatze astuna (E).....	51
9.6.	Arrisku analisiaren laburpena	52
10.	ONDORIOAK	53
11.	BIBLIOGRAFIA	54
	ERANSKINAK	56
I.	EMAITZAK.....	56

LABURPENA

Bat-bateko bihotz geldialdi (BBG) batengatik ematen den bat-bateko bihotz-heriotza munduko hilkortasun kausarik nagusienetakoa da. BBGaren tratamenduak bihotz-biriketako berpiztea eta desfibrilazio goiztiarra eskatzen ditu, lehenbailehen hasi behar direnak.

BBGa antzemateko teknika gaixoak pultsua duen antzematea da. Pultsu detekzioaren bidez, alde batetik gaixoak benetan bihotz geldialdia jasan duen bermatzea eta bestetik, berpiztearen saiakuntzan zehar berezko zirkulazioaren errekupezioa antzematea baimentzen du. Hala ere, medikuntza profesionalek zailtasunak dituzte pultsu-presentzia era argi batean zehazteko. Bihotz taupaden energia QRS konplexuan dago. Beraz, QRS detektore zehatza ezinbestekoa da elektrokardiograman oinarritutako pulso detektore automatikoak garatzeko.

Horren harira, proiektu honen helburua ospitale kanpoko bihotz-biriketako berpiztean agertzen diren bihotz-erritmoekin QRS detektore desberdinak aztertzea eta QRS detektore egokia proposatzea da. Hainbat QRS detektore klasiko proposatu diren arren, horiek ez dira egokiak BBGaren testuinguruan azaltzen diren erritmo erregularrentzat hemodinamikoki egonkorak diren pertsonentzat pentsatuta baitaude aldiz, BBGko erritmoak oso ezegonkorak dira eta uhin forma oso bereziak dituzte.

Helburu hori betetzeko, QRS detektore klasikoak azertu dira BBGko erritmo erregular laburrentzat. Horrekin batera, erritmo horietan QRSak detektatzeko balio duen algoritmoa diseinatu da aztertutako detektore klasiko baten algoritmoan oinarrituz. Lana burutzeko ospitale-kanpoko BBGa izan duten pazienteen erregistro elektronikoak, elektrokardiograma, eta datu klinikoak erabiliko dira.

Prozesua errazteko asmoz, hainbat tresna grafiko garatuko dira datu-basea definitzeko, QRS detektore klasikoen gaitasunak ebaluatzeko eta QRS detektore aproposa diseinatzeko. Datu-basean markatutako QRSen uneak erabiliz detektoreen zehaztasunak estatistikoki ebaluatuko dira eta bihotz-maiztasunaren erroreak kalkulatu. Garatutako algoritmo berriarekin lortutako emaitzak begiratu, BBGAN agertzen diren QRS konplexuen uneak automatikoki identifikatzea posible dela ondorioztatu daiteke.

RESUMEN

La muerte súbita por parada cardiorrespiratoria (PCR) repentina es una de las principales causas de mortalidad en el mundo. La única forma de tratar esta afección cardíaca es con reanimación cardiorrespiratoria y desfibrilación temprana, que deben iniciarse lo antes posible.

La técnica para detectar una PCR se centra en la identificación de presencia de pulso en el paciente. Mediante la detección del pulso, por un lado, se identifica la PCR y, por otro lado, permite percibir la recuperación de la circulación espontánea durante el proceso de reanimación. Sin embargo, los profesionales tienen dificultades para determinar claramente la presencia del pulso. La energía del latido del corazón está en el complejo QRS, por lo que un detector preciso de complejos QRS es esencial para el desarrollo de dispositivos de detección de pulso basados en electrocardiogramas.

En este sentido, el objetivo de este proyecto es analizar los detectores clásicos de QRS con los ritmos cardíacos que aparecen en la resucitación cardiopulmonar extra hospitalaria y proponer un buen detector de QRS. Los numerosos detectores clásicos que se han propuesto para pacientes hemodinámicamente estables, no parecen apropiados para los ritmos regulares que aparecen en el contexto de una PCR, donde los ritmos son muy inestables y tienen formas de onda muy aberrantes.

Para lograr ese objetivo, en este proyecto se estudian los detectores QRS clásicos con ritmos de PCR. El algoritmo utilizado para detectar QRS en estos ritmos ha sido diseñado en base al algoritmo de un detector clásico previamente analizado. Para desarrollar este trabajo se utilizarán el registro electrónico, el electrocardiograma, y los datos clínicos de pacientes que hayan sufrido una PCR extra hospitalaria.

Para facilitar el proceso, se desarrollarán diversas herramientas gráficas que permiten: definir la base de datos, evaluar las capacidades del detector QRS clásico y diseñar el detector QRS ideal. Utilizando las posiciones de los QRS se evaluarán las características estadísticas de los detectores y se calcularán los errores producidos en el cálculo de la frecuencia cardíaca. Al observar los resultados obtenidos con el nuevo algoritmo desarrollado, se concluye que es posible identificar automáticamente las posiciones de los complejos del QRS que aparecen en los paros cardíacos repentinos.

ABSTRACT

The sudden cardiac death caused by a sudden cardiac arrest (SCA) is one of the main death causes in the world. The treatment of SCA needs early defibrillation and cardiopulmonary resuscitation as soon as possible.

Pulse check is compulsory to detect a SCA and to monitor the return of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation. However, both lego and clinicians have difficulties identifying the presence of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest. The energy of the effective heart beats is concentrated in the QRS complex, so a QRS detection is compulsory to develop automatic algorithms to detect pulse based on the electrocardiogram.

In this regard, the aim of this project is to analyse classical QRS detectors with out-of-hospital cardiac arrest rhythms and to propose an appropriate QRS detection algorithm. Classical QRS detectors were designed for hemodynamically stable patients, and might not be accurate for SCA rhythms, where more unstable and aberrant waveforms are expected.

The accuracy of classical QRS detectors will be statistically evaluated with out-of-hospital cardiac arrest rhythms, and a new QRS detector will be provided appropriate for short time rhythms. The database used includes the electronic file, the electrocardiogram, and the clinical information of the patient.

To facilitate this process, different graphic tools will be developed to define the database of the study, to evaluate the performance of classic QRS detectors and to design the proper QRS detector. Manual annotations of QRS instants are used to evaluate statistically the accuracy of the detectors and to quantify the error in terms of heart rate. Attending to the performance of the new algorithm proposed we conclude that it is possible to automatically identify the QRS complexes in cardiac arrest rhythms.

LABURDUREN ZERRENDA

ALS	Advanced life support
AS	Asistolia
BAC	Balanced Accuracy
BBB	Bihotz-biriketako berpiztea
BBG	Bat-bateko bihotz geldialdia
BBH	Bat-bateko bihotz-heriotza
BI	Bular-inpedantzia
BIORES	Research Group in Bioengineering and Resuscitation
EKG	Elektrokardiograma
KDA	Kanpoko desfibriladore automatikoa
PEA	Pulseless Electrical Activity
PPV	Positive Predictive Value
PR	Pulse-generating rhythm
ROSC	Return Of Spontaneous Circulation
SE	Sensitivity
VF	Ventricular Fibrillation
VT	Ventricular Tachycardia

TAULEN ZERRENDA

Taula 1: Optimizatutako parametroen balio aproposenak.....	37
Taula 2: Algoritmoek PR erritmoekin lortutako efizientzia balioak.....	39
Taula 3: PR erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin	39
Taula 4: Algoritmoek PEA erritmoekin lortutako efizientzia balioak	40
Taula 5: PEA erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin.....	40
Taula 6: Proiektuko partaideak.....	41
Taula 7: Mugarriak	46
Taula 8: Barne orduen kostuak.....	48
Taula 9: Amortizazioen kostuak.....	48
Taula 10: Gastuen kostuak	49
Taula 11: Guztizko kostu aitortpena.....	49
Taula 12: Algoritmoek PR erritmoekin lortutako efizientzia balioak	59
Taula 13: PR erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin. Parentesi artean algoritmoak bihotz-maiztasuna kalkulatzeko erabilitako mozketak kopurua, errorea kalkulatzeko kontutan hartuz.....	59
Taula 14: Algoritmoek PEA erritmoekin lortutako efizientzia balioak	60
Taula 15: PEA erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin. Parentesi artean algoritmoak bihotz-maiztasuna kalkulatzeko erabilitako mozketak kopurua, errorea kalkulatzeko kontutan hartuz.....	60

IRUDIEN ZERRENDA

Irudia 1: EKG seinalea txaplaten bidez erregistratzen duen KDA	13
Irudia 2: PEA eta PR adibideak seinale azkar(b,c) eta makalekin(a,d).....	14
Irudia 3: EKG seinalearen uhin formaren tarreak, non QRS konplexua eta R uea adierazten diren.....	15
Irudia 4: Goitik behera honako seinaleak irudikatzen dira: 1)EKG seinalea: jatorrizko seinalea. 2)EKG seinale iragaziaren eta deribatuaren balio absolutua. 3) EKG seinalea integratzailearen ondoren	21
Irudia 5: SQRS algoritmoa: a) EKG seinale originala. b) EKG seinalea aurreprozesatu, non QRSak detektatzeko atalasea irudikatzen den.	23
Irudia 6: WQRS algoritmoak jarraitzen duen prozedura QRSak identifikatzeko	24
Irudia 7: WQRS detektorearen emaitzak: 1)EKG signal: jatorrizko seinalea. 2) EKG seinalea behe paseko iragazkiaren ondoren 3) EKGaren kurba longitudearen transformazioa.	25
Irudia 8: Mozketak egiteko erabilitako ingurunea.....	27
Irudia 9: QRS markak definitzeko tresnaren bukaerako datu-basearen egitura eremu berria gehituta.....	29
Irudia 10: QRS markak definitzeko ingurunea.....	29
Irudia 11: Fluxu-diagrama: QRS markak definitzeko tresnaren funtzionamendua.....	30
Irudia 12: QRS detektore klasikoak frogatzeko tresna aplikatu ahal izateko datu-basearen egitura gehitutako eremu berriekin.....	31
Irudia 13: QRS detektore klasikoak antzemandako markak irudikatze erabili den tresnaren diseinu orokorra	32
Irudia 14: Fluxu-diagrama: Detektore desberdinen emaitzak irudikatze tresnaren funtzionamendua	32
Irudia 15: Short-Time algoritmoaren eskema orokorra.....	33
Irudia 16: Jatorrizko EKG seinalea eta bere luzeraren transformazioa.	34
Irudia 17: Fc1 parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan	35
Irudia 18: Fc2 parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan	36
Irudia 19: W-width parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan.....	36
Irudia 20: RRmin parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan.....	36
Irudia 21: QRSmin parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan	37
Irudia 22: Gantt diagrama.....	47
Irudia 23: Proiektuaren arriskuekin erlazionatutako probabilitate-eragin matrizea	52
Irudia 24: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua PT algoritmoa erabiliz	61
Irudia 25: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua HT algoritmoa erabiliz.....	61

Irudia 26: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua SQRS algoritmoa erabiliz	62
Irudia 27: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua GQRS algoritmoa erabiliz	62
Irudia 28: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua WQRS algoritmoa erabiliz	63
Irudia 29: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua ST-QRS algoritmoa erabiliz	63
Irudia 30: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua PT algoritmoa erabiliz.....	64
Irudia 31: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua HT algoritmoa erabiliz.....	64
Irudia 32: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua SQRS algoritmoa erabiliz	65
Irudia 33: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua GQRS algoritmoa erabiliz.....	65
Irudia 34: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua WQRS algoritmoa erabiliz.....	66
Irudia 35: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua ST-QRS algoritmoa erabiliz....	66
Irudia 36: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila PT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	67
Irudia 37: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila HT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	68
Irudia 38: PR mozketen erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila SQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta	68
Irudia 39: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila GQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	69
Irudia 40: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila WQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	69
Irudia 41: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila ST-QRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	70
Irudia 42: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila PT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	70
Irudia 43: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila HT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	71
Irudia 44: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila SQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	71
Irudia 45: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila GQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta.....	72
Irudia 46: PEA mozketen erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila WQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta	72
Irudia 47: PEA mozketen erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila ST-QRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta	73
Irudia 48: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, PT algoritmoa).....	74
Irudia 49: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, HT algoritmoa).....	74
Irudia 50: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, SQRS algoritmoa)	75
Irudia 51: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, GQRS algoritmoa).....	75
Irudia 52: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, WQRS algoritmoa).....	76

Irudia 53: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, ST-QRS algoritmoa)...	76
Irudia 54: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, PT algoritmoa)	77
Irudia 55: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, HT algoritmoa)	77
Irudia 56: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, SQRS algoritmoa)....	78
Irudia 57: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, GQRS algoritmoa)...	78
Irudia 58: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, WQRS algoritmoa)..	79
Irudia 59: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, ST-QRS algoritmoa)	79

1. SARRERA

Bat-bateko bihotz-heriotza (BBH) bihotz gaixotasun larrienetakoa eta herrialde garatuetakoa heriotza kausa nagusia da[1]. BBH bihotz geldialdiaren ondorioz gertatzen den heriotza da, non odola ez da burmuinera ezta organismo osora helduko bihotzaren kuzkurtze kaltetuagatik[2]. Heriotza hauen %60a baino gehiago, gaixotasun kardiobaskularren ondorioz gertatutakoak dira[1].

Orokorrean, ospitaletik kanpoko biziraupen tasa ospitale barruko geldialdiena baino txikiagoa da[3]. Ospitaletik kanpo bihotzaren geldialdia jasan duen paziente batentzat ROSC (Return of spontaneous circulation) [4] lortzeko ahalmena determinatzen duten faktore larriak: desfibrilazio aproposa eta pazientearen arreta goiztiarra dira.

Bestalde, berpiztearen arrakasta desfibrilazio goiztiarrean eta kalitatezko bihotz-biriketako berpiztean (BBB) datza. BBB bular sakadetan eta aireztapenetan oinarritzen den maniobra da. Honen helburua, ezinbesteko organoetara oxigenatutako odol fluxua artifizialki mantentzea da. BBB kalitatezkoa izateko, maiztasun eta sakontasun egokiko sakadak eta maiztasun egokiko aireztapenak kontuan hartu behar dira [5].

Desfibrilazioa, aldiz, pazientearen bularrean aplikatzen den deskarga elektrikoa da, ROSC lortzeko. Kanpoko desfibriladore automatikoen (KDA) eragileen ekintzak gidatzen dituzte mezuen bidez BBBan, eta desfibrilazio goiztiarra ahalbidetzen dute[6].

Elektrokardiograma (EKG) seinale batean gaixoak pultsua duen jakiteko bihotz taupada zehatzak antzematea garrantzitsua da. Hortaz, bihotz taupada eraginkorren energia QRS konplexuan dagoenez, QRS detektore zehatza ezinbestekoa da EKGaren azterketarako[7].

Honen harira, proiektu honetan KDArentzat zuzendutako ROSC detektorea landu nahi da denbora laburreko seinaleentzat ere balio duena. KDAetan EKG eta bular inpedantzia (BI) seinaleak soilik daude eskura[8]. Hala eta guztiz ere, BI zirkulazio osagaia identifikatzeko erresoluzio ona behar da, KDA komertzial askok ez dutena. Beraz, EKGn bakarrik oinarritutako metodoak erabiliko dira, non seinalearen uhin formaren arabera, PEA/PR bereizketa egin daitekeen.

Orain arte proposatutako hainbat QRS detektore paziente egonkorrekin diseinatu ziren, eta ez dira bihotz geldialdietako erritmoekin ebaluatu. Beraz, lan honetan, geldialdiko erritmo erregularrekin ebaluatuko dira, bi motatakoak izan daitezkeena: pultsurik gabekoak (pulseless electrical activity, PEA) edo pultsudunak (pulsed rhythm, PR). Emaiza horietan oinarrituta ospitale kanpoko erritmoentzat egokia den QRS algoritmoa diseinatuko da.

2. TESTUINGURUA

Geldialdiaren momentuan, paziente gehienek erritmoa VF (Ventricular Fibrillation) edo VT (Ventricular Tachycardia) izaten da. Baina, suspertze-ahaleginak hasten direnerako, erritmoa okerrera egiten du asistoliara (AS) helduz, hau da, bihotzaren aktibitate eza edo pulsurik gabeko aktibitate elektrikoa (PEA) duen egoerara. [4]

BBBaren eta desdibrilazioaren bidez pulsutudun erritmora (PR) iristea da helburu. Horretarako, KDA edo monitore-desfibriladoreak erabili behar dira.

Oro har, berpizte-egoera batean erabilgarriak diren seinale bakarrak edozein KDAk erregistratzen dituen seinaleak dira: elektrokardiograma eta bular-inpedantzia. Azken honek bular-sakadei eta aireztapenei loturiko aldaketak erakusten ditu, BBBaren kalitate-parametroak neurtzeko erabil daitezkeenak [6].



Irudia 1: EKG seinalea txaplaten bidez erregistratzen duen KDA

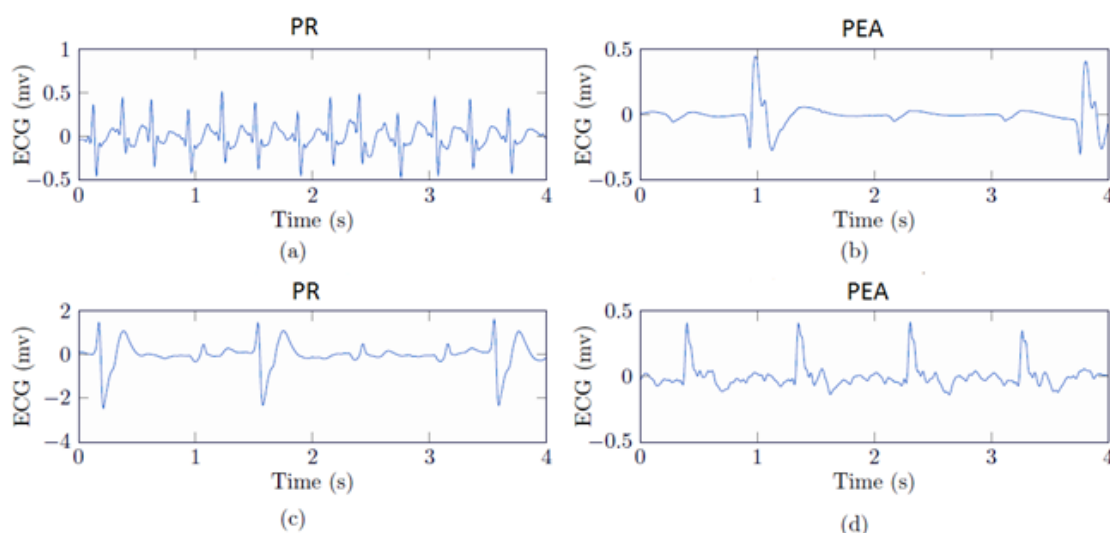
Bestalde, ALSren (Advanced life support) medikuntza-arreta profesionalaren hornitzaileak monitore-desfibriladoreak erabiltzen dituzte, KDAk erabili beharrean. Monitore-desfibriladoreak ospitaletan eta ALS anbulantzietan instalatuta daude. Monitore-desfibriladorea eskuzko moduan erabil daitekeen gailua da. Modu honetan, osasun-profesionalak bere medikuntza-ezagutzak erabiltzen ditu pazientearen erritmoa BBB zikloaren bi minuturo aztertzeko eta honek erabakiko du ea desfibrilazioa beharrezkoa den edo ez. Desfibrilazioa beharrezkoa izatekotan, osasun-profesionalak zer karga(Juliotan) erabiliko den erabaki eta deskarga bat emango dio pazienteari[2].

Monitore-desfibriladorea gaitasun aurreratuak eskaintzen ditu, hala nola, pulsuaren oximetria eta kapnografia. Pulsuaren oximetria paziente baten odol arterialak duen

oxigeno asetasuna kontrolatzeko erabiltzen da. Bestalde, kapnografia arnasketa-gasetan dagoen karbono dioxidoaren kontzentrazioaren monitorizazioan oinarritzen da[8].

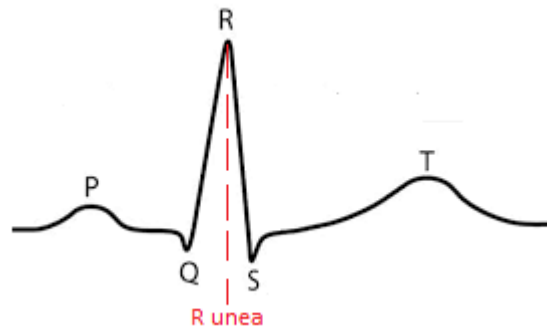
Seinale horiek ROSC gertatu den edo ez jakiteko balio dute. Horretarako, pultsua hautematea beharrezkoa da. Pultsua detektatzea PEA erritmo erregular bat PR batetik bereiztea da. Erritmoa PEA moduan sailkatuko da pulsurik egon ezean, osteraz, pultsua detektatzen bada erritmo hori PR moduan sailkatuko da.[2]

2.irudian, PR eta PEA seinaleen adibideak aurkezten dira non kasu bakoitzeko bi mota agertzen diren bat maiztasun makaleko erritmoekin(a,d) eta beste bat erritmo azkarra dutenak(b,c).



Irudia 2: PEA eta PR adibideak seinale azkar(b,c) eta makalekin(a,d)

Istorian zehar, EKGan eta BIn oinarritutako metodoak aurkezten dituzten proposamenak egin dira: Risdal et al. (inpedantzia-seinlean oinarrituriko lehenengo aireztapen detektorea) [4] eta Elola (EKGn oinarritutako pulsu-detekzioa bihotz geldialdi batean zehar)[9], EKGaren hainbat ezaugarri neurtuz PR/PEA sailkatzaileak garatzen dituztenak. Horietako hainbat ezaugarri, taupada bakoitzari lotutako QRS konplexuan daude oinarrituta, R unea (3.irudian ageri dena), eta horri lotutako ezaugarrietan: bihotz-maiztasuna, QRS uhinaren luzera, QRS-iraupena...



Irudia 3: EKG seinalearen uhin formaren tartekak, non QRS konplexua eta R unea adierazten diren

PEA eta PR kasuak lehen aipatutako ezaugarriak kontuak harturik desberdinu daitezke. Hasteko, PRak bihotz-maiztasun handiagoa dute eta QRS konplexuen zabalera estuagoa da, hau da, iraupen txikiagokoak dira eta zentzu handiagoa dute[3]. Honekin batera, PR seinaleetako QRSen aldiuneak abiadura handiagokoak dira eta egonkorragoak dira, PEA seinaleen kasuan organoetara oxigeno nahikoa garraiatzen ez delako[8].

3. HELBURUAK

3.1. Helburu nagusia

Proiektu honen helburu nagusia ospitale kanpoko BBBan agertzen diren bihotz-erritmo erregularrekin QRS detektore desberdinak aztertzea eta QRS detektore egokia proposatzea da.

Helburu hori lortzeko, aurretik beste tarteko helburu partzial batzuk bete behar dira, helburu hauek hurrengo atalean adieraziak dira.

3.2. Helburu partzialak

3.2.1. Datu-basea definitu

Lan honetarako erregistro guztiak ospitale kanpoko geldialdietakoak dira eta bi datu-base desberdinetan banatu dira. Alde batetik, datu-base bat PR kasuekin eta beste bat PEA kasuekin. Erregistro hauetan EKG seinaleak eta gaixo bakoitzari dagokion informazioa dago. Bestalde, seinaleak prozesatu ahal izateko .mat formatuan egon behar dira. Mozketak egiterako orduan, irizpide batzuk jarriko dira eta horretarako, datu-baseko mozketek 'ground truth' moduan ezagutzen den erreferentzia izan behar dute.

3.2.2. QRS detektore klasikoak inplementatu

Paziente egonkorrentzat definitutako QRS detektore klasikoen algoritmoak MATLABen inplementatuko dira, bai datu-basea bai emaitzat formatu egokira bihurtuz.

3.2.3. Algoritmoen zehaztasunak estatistikoki ebaluatu

Beste helburu partzialetako bat algoritmo klasikoak estatistikoki ebaluatzea da, datu-baseko paziente guztien mozketak erabiliz. Dokumentu hau sortzeko bi ezaugarri ebaluatuko dira: QRS uneak detektatzeko gaitasuna eta hortik ateratako bihotz-maiztasunaren zehaztasuna, lortutako emaitzak beti ere erreferentziarekin alderatuz.

3.2.4. Short-Time algoritmoa garatu, optimizatu eta ebaluatu

Azken helburu partziala denbora laburrean eta geldialdiko erritmoetan QRSak detektatzen dituen algoritmoa garatzea eta optimizatzea izango da. Algoritmo honek EKG seinale bakoitzean QRS konplexuaren R unea identifikatuko du.

4. ONURAK

Proiektu honek hainbat onura ekar ditzake arlo desberdinetan, arlo nagusiak honakoak dira: arlo soziala, zientifikoa, teknikoa eta ekonomiko.

4.1. Onura sozialak

Proiektu honekin QRS detektore fidagarri bat lortuz gero, ospitale kanpoko BBBan agertzen diren bihotz-erritmoekin, pertsona batek pultsua duen edo ez hautemateko orduan, aurrerapen esanguratsuak lortuko zitezkeen.

Alde batetik, osasun-langileei BBB egiten noiz eten behar duten jakiteko baliabide on bat izango zen eta beste alde batetik, pulsu detektorea berpizte-aurreikuspenetarako tresna fidagarri eta eraginkorra dela frogatuko zen.

4.2. Onura zientifikoak

Onura zientifiko nagusiak ikerketa gaiaren inguruan egindako ekarpenak izango dira. Proiektu honetan lortutako emaitzak etorkizunean garatuko diren QRS detektoreak sortzen lagundu dezakete. Esaterako, aztertutako detektore desberdinetatik ondorioztatzen diren onurak eta ahultasunak kostuan hartu daitezke detektore hobe bat sortzeko. Azken onura geldialdian dagoen pazientearen pultsua detektatzeko metodo automatikoak garatzea izango da, horren bidez suspertzaileari lagunduko zaio pultsua noiz errekuperatzen den identifikatzen.

UPV/EHUn Bilboko Ingeniaritza Eskolako BIORES (Research Group in Bioengineering and Resuscitation) ikerketa taldeak bihotz-biriketako berpizte eta seinale medikuen prozesaketaren inguruan egiten du lan. Proiektu honek aipatutako ikerketa arloan ekarpenak egin ditzake eta ikerketa taldearen helburua den seinaleen prozesaketa bidezko BBBren optimizazioan lagundu.

4.3. Onura teknikoak

Proiektu honen onura tekniko nagusienak proiektu osoan zehar erabilitako materialei dagozkie. Hasteko, lan honetan lortutako datu-basea erabilgarria izan daiteke beste proiektu batzuetan erabiltzeko.

Horretaz gain, proiektuan zehar garatutako tresnak beste proiektu batzuetan erabilgarriak izan daitezke. Alde batetik, markak gehitzeko ingurunea, datu-base berriak sortzeko eta beste seinale desberdinetan markak gehitzeko erabil daitezke. Era berean, QRSak detektatzeko algoritmoak frogatzeko erabili dugun ingurunea beste datu-base batzuetan jasotako informazio eta seinaleak ikusi eta aztertzeko erabil daiteke. Honekin batera, beste algoritmo batzuk probatzeko ere oso erabilgarria izan daiteke.

Bukatzeko, proposatutako Short-Time QRS detektorea garatuko da, pultsua automatikoki identifikatzeko lagunduko duena.

4.4. Onura ekonomikoak

Proiektu honen helburu nagusia ez dela onura ekonomikoak lortzea azpimarratzekoa da. Hala eta guztiz ere, proiektuarekin emaitza onak lortzeak, ikerketa arloan aurrerapen handiak suposatuko lituzke. Honek osasunaren esparruan irtenbide garrantzitsuagoak ekarriko lituzke, etorkizun batean onura ekonomikoak ekarriko lituzkeena desfibriladore batean integratuz gero.

5. ARTEAREN EGOERA

Jarraian azalduko dira literaturan proposatu dauden QRS detektoreak. Algoritmo hauek paziente egonkorrekin frogatuta daude ez BBBko erritmoekin. Era batera edo bestera detektoreek QRSaren uhin forma zorrotza detektatzen dute, eta R unea edota malda handienaren unea identifikatzen dute. Datu horiek izanda, posible da hainbat ezaugarri kalkulatzeko PR/PEA bereizteko, eta pazienteak pulstua duen jakiteko.

Ikerketa egiteko aukeratuak izan diren algoritmoak honakoak dira Pan-Tompkins (1985)[10], Hamilton-Tompkins (1986)[11], SQRS (2002)[12], GQRS[13] eta WQRS (2003)[14]. Algoritmo hauek hautatu dira gehien zabaldua dauden detektoreak direlako, eta inplementatzeko algoritmoak lortu ahal izan direlako, batzuk MATLAB formatuan eta beste batzuk WFDB formatuan(Physionet)[15].

5.1. Pan-Tompkins algoritmoa

Algoritmo honek QRSak denbora errealean detektatzeko ahalmena du. QRSA antzemateko ohiko ezaugarria R uhinaren malda da, baina detekzio on bat egin ahal izateko ezaugarri honekin ez da nahikoa. Ondorioz, algoritmo hau maldan, anplitudean eta seinalearen zabalera oinarritzen da.

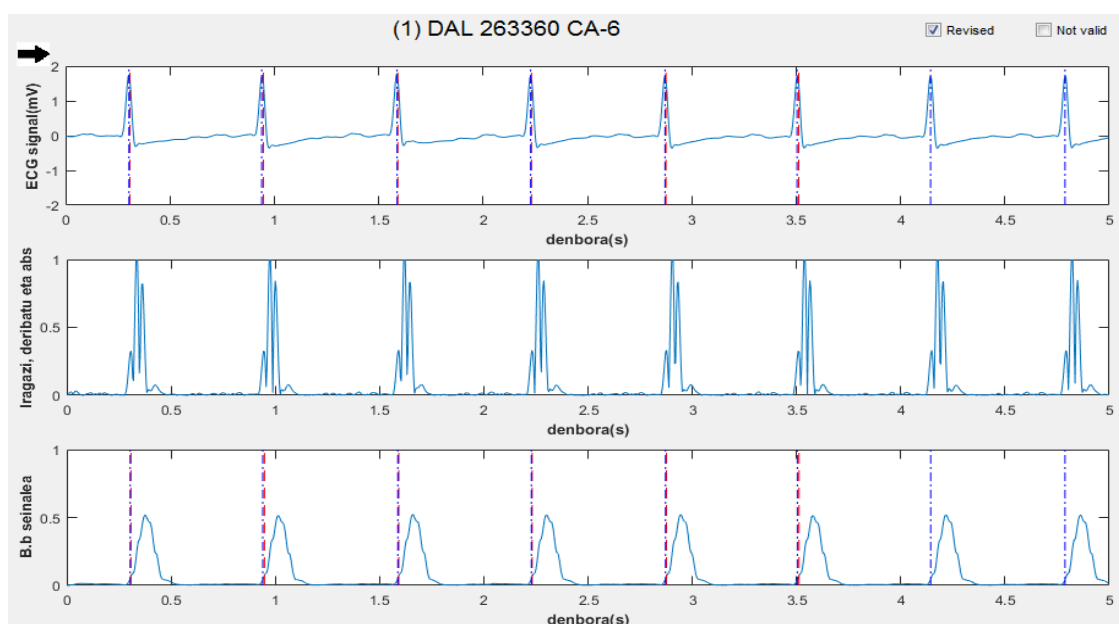
Bi etapa desberdinetan oinarritzen da: aurreprozesatzea eta erabakitze-fasean.

Aurreprozesatze fasean, seinalea gerora jasango duen detekziorako prestatzen da, zarata ezabatuz, seinalea leunduz eta QRSaren malda eta zabalera aplikatuz. Gerora, erabakitze fasean, seinaleari atalaseak aplikatzen zaizkio, zarataren puntak ezabatzeko eta seinalearen puntak bakarrik kontuan hartzeko asmoz.

Lehenengo urratsa seinalea iragazkien bloke batetik pasatzea da zarata eta T uhinaren eragina murrizteko. Iragazkien blokea goi eta behe pasoko iragazkien kaskada bat da, 5 eta 12 Hz arteko 3dBko banda lortzeko. Behe pasoko iragazkia zarata deuseztatzeko erabiltzen da eta goi pasokoa, ostera, P eta T uhinak indargabetzeko. Hurrengo urratsa iragazkiaren irteeran deribatua aplikatzea izango zen, malda konplexuaren informazioa emango diguna. Ondoren, puntuka karratuko⁽²⁾ da. Honek, deribatutako seinalearen malda areagotuko du eta T uhinaren ondorioz detekta daitezkeen QRS faltsuak gutxituko ditu. Bukatzeko, leiho mugikor integratzailea aplikatzen da, malda eta seinalearen zabalera informazioa ematen du. Leiho integratzailearen zabalera oso garrantzitsua

da QRS konplexua barne hartu behar duelako, zabalera desberdinetakoa izan daitekeena, eta ezin da T uhinekin nahastu. Zein kasu honetan 150 ms-koa izan den[10].

4.irudiak oinarrizko EKGa eta prozesamendu bakoitzaren ostean lortutako irteerako seinaleak aurkezten ditu. Bertan agertzen diren marra bertikal urdinak QRS aldiune bakoitzaren erreferentzia izango da eta marra gorriak ostera, detektoreak QRS bat detektatzen duen aldiunea. Goiko irudia, jatorrizko EKGa da, erdialdekoa jatorrizko seinalea goi- eta behe-pasoko iragazkitik igaro, deribatua aplikatu eta puntuka karratua aplikatu ondoren lortutako seinalea eta bukaerakoa, ostera, leiho integratzailea aplikatu ondoren lortzen dena. Azken irudi honetan, QRSaren zabalera argi eta garbi zein den ikus daiteke.



Irudia 4: Goitik behera honako seinaleak irudikatzen dira: 1)EKG seinalea: jatorrizko seinalea. 2)EKG seinale iragaziaren eta deribatuaeren balio absolutua. 3) EKG seinalea integratzailearen ondoren

Erabakitze fasean, seinalea prozesatu ondoren, QRSen detekzioarekin hasiko da. Etapa honetan bi atalase aplikatzen dira bat iragazitako EKGari eta bestea, integratutako leiho mugikorra aplikatu ostean geratzen den seinaleari. Hau lortzeko, lehenengo piko baten detekzioa behar da, kontuan hartuz piko bat maximo bat dela eta ondoren piko bakoitza zarata edo seinale moduan sailkatuko da, erabakitako atalasea kontuan hartuta.[6]

Modu honetan, seinale moduan sailkatutako maximoak detektatzen joango dira eta atalase mailak detektatzen den pikoaren ostean eguneratzen joango da.

Algoritmo honen kodea Physioneten eskuragarri dago, WFDB formatuan [17].

5.2. Hamilton-Tompkins algoritmoa

Hamilton-Tompkins eta Pan-Tompkins algoritmoak aurreprozesatze bera erabiltzen dute. Beraz, aurreprozesatzea aplikatu ondoren lortutako seinalea 4.irudiko azkenengo seinalea izango da.

Bestalde, erabakitze arauak oso desberdinak dira. Algoritmo honetan aurrekoan bezala, fase hau zarata eta seinaleen pikoak desberdintzean oinarritzen da. Gero, maila bat ezartzen da pikoak zarata bezala eta beste bat seinale bezala sailkatzeko eta atalase maila bien artean ezartzen da. Algoritmo honen oinarritzko desberdintasuna zarata eta seinale maila ezartzeko erabiltzen den modua da. Aurreko kasuan, ekuazio bat erabiltzen da piko bakoitza detektatzean mailak eguneratzeko, ostera, algoritmo honetan maila hauek lortzeko ikuspegi desberdinak erabili ziren. Hiru estimatzaileen errendimendua frogatu zen: batezbestekoa, mediana eta iterazio-maila maximoa. Batezbestekoa egiten zuen estimatzailea erabiliz, emaitza onenak lortu ziren eta ondorioz, hau da algoritmoa inplementatzean erabiltzen dena[11]. Algoritmo honen kodea MATLAB formatuan eskuratu da hasierako algoritmoa[18] egokitu ostean .

5.3. SQRS algoritmoa

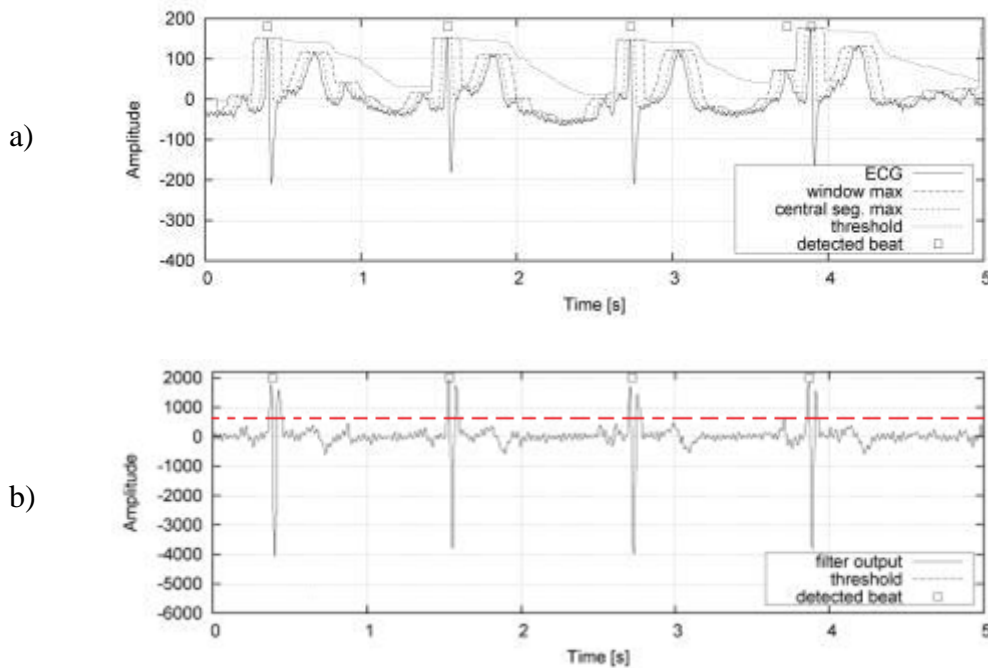
SQRS algoritmoa iragazkiak erabiliz malden detekzioan oinarritzen den algoritmoa da. Algoritmo hau bi QRS detektoreen konbinazioan oinarrituta dago. Lehenengo detektoreak detekzio-atalasea gainditzen duten EKG seinalearen saihesten gorakorren kopuruaren arabera da. Hasteko, seinalea behe-pasoko iragazki batetik pasatzen da ondoren, goi pasoko iragazki batetik igarotzen da elikadura iturriaren lehenengo interferentziaren harmonikoa indargabetzen du. Bukatzeko, iragazki deribatu batetik iragazi eta irteeraren balio absolutua kalkulatu du EKG seinalearen deuseztapenak saihesteko.

5.irudian seinale baten jatorrizko EKGa eta aurreprozesatzearen ostean lortutako irteerako seinalea irudikatzen dira.

Prozesatzen honen ondoren, QRSaren gertaera determinatzeko irizpidea sarrerako seinalearen 180ms-ko leihoan saihesten gorakorra atalasea (5.irudian marra gorria) zenbat aldiz gurutzatzen duen aztertuko du. Gurutzaketa bakarra bada, seinalea bigarren detektagailura bidaliko da, beraz, bigarren detektagailuaren irteera erabiliko da QRS bat den edo ez erabakitzeko. Gurutzaketa kopurua 2 eta 4 artekoa bada, QRS konplexu

moduan definituko da. Bestalde, gurutzaketa kopurua 4 baino handiagoa denean, zarata moduan definituko da[12].

Atalase maila, sarrerako seinalearen arabera egokitzen joango da.



Irudia 5: SQRS algoritmoa: a) EKG seinale originala. b) EKG seinalea aurreprozesatu, non QRSak detektatzeko atalasea irudikatzen den.

Algoritmo honen kodea Physioneten eskuragarri dago, WFDB formatuan [19].

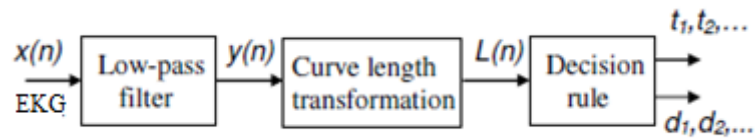
5.4. GQRS algoritmoa

GQRS detekzio metodoa R pikoen aldiuneetan oinarritzen da[13] eta sentsibilitatearentzat optimizatu izan da. Detektore honen algoritmoa berria denez, oraindik ez dago publikatuta[16]. Algoritmo honen kodea Physioneten eskuragarri dago, WFDB formatuan[20].

5.5. WQRS algoritmoa

Kurbaren luzeraren transformazioan oinarrituta dagoen algoritmoa da. Kasu honetan, behe paseko iragazki bat bakarrik aplikatzen da, kurbaren luzeraren transformazioa egitean behe maiztasuneko elementu gehienak gaitzesten direlako.

EKG seinalea $x[n]$, behe pasoko iragazkitik igaro ondoren, $y[n]$ -ri (7. irudia: behe pasoko iragazkia) kurbaren luzeraren transformazioa aplikatuko zaio.



Irudia 6: WQRS algoritmoak jarraitzen duen prozedura QRSak identifikatzeko

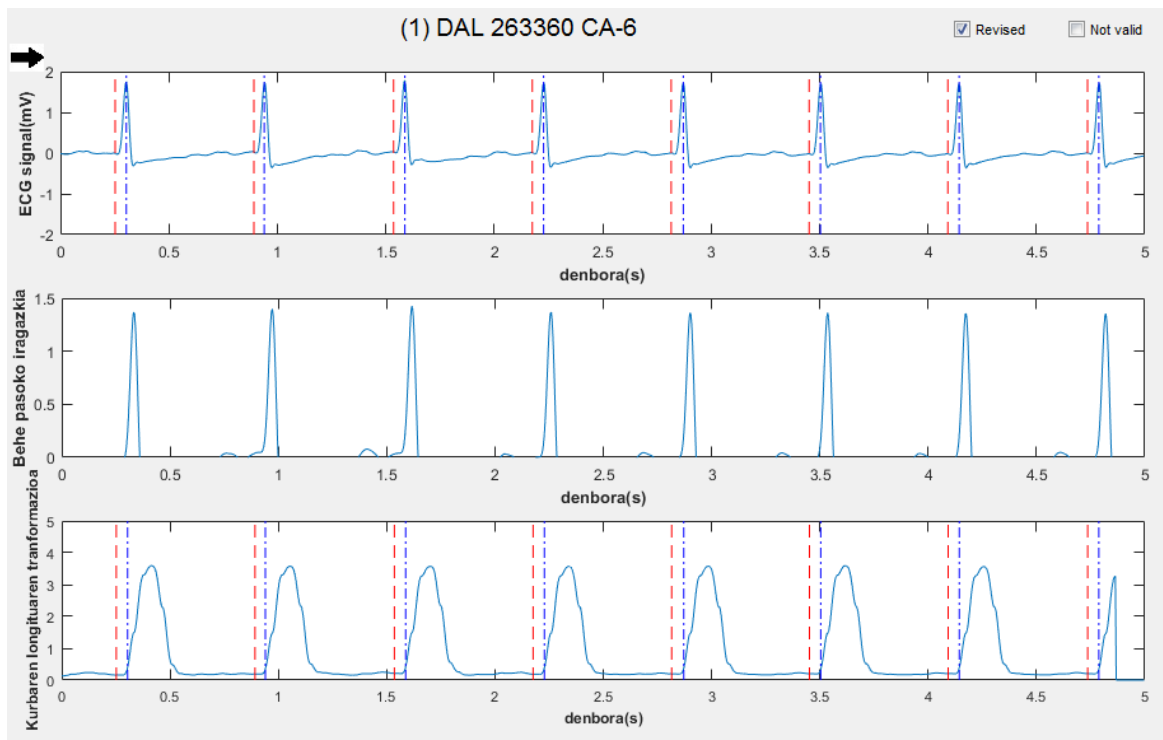
Kanal baten seinale diskretu batentzat $y[n]$ seinale baten luzeraren transformazioa q leihoa erabiliz, hurrengoa izango litzateke:

$$L[n] = \sum_{k=i}^{i+q-1} \sqrt{1 + (y[n] - y[n-1])^2}$$

Aplikazio honen leihoaren luzeraren aukeraketa 130 ms-koa da, QRS konplexuen detekzioa maximizatzen. Transformazioa egin ondoren lortutako irteera, $L[n]$, atalase batekin alderatzen da. Seinalea atalasea igarotzen duenean, algoritmo honek QRSaren hasiera eta zabalera zein den bilatuko da[14].

7.irudian, oinarrizko EKGa eta prozesamendu bakoitzaren ostean lortutako irteerako seinaleak aurkezten dira. Bertan agertzen diren marra bertikal urdinak QRS aldiune bakoitzaren erreferentzia izango da eta marra gorriak ostera wqrs detektoreak QRS bat detektatzen duen aldiunea. Irudian ikus daitekeen moduan, detektore honek QRSaren hasiera zein den adierazten du eta ez R aldiunea erreferentziazkoan egiten den moduan. Goiko irudia jatorrizko EKGa da, erdialdekoa behe-pasoko iragazkitik igaro ondoren lortutako seinalea izango da eta bukaerakoa, ostera, kurbaren luzeraren transformazioa aplikatu ondoren lortzen dena.

Bukatzeko, erabakitzeko erregela bi prozeduretan oinarritzen da. Alde batetik seinalearen gaineko atalasea finkatu behar da, QRSaren posizio posible bat lortzeko eta beste alde batetik, QRSaren hasiera eta iraupena bilatu behar da. Horren arabera, erabakiko da detektatutakoa benetan QRSa den edo ez.



Irudia 7: WQRS detektorearen emaitzak: 1)EKG signal: jatorrizko seinalea. 2) EKG seinalea behe paseko iragazkiaren ondoren 3) EKGaren kurba longituearen transformazioa.

Algoritmo honen kodea Physioneten eskuragarri dago, WFDB formatuan aurrekoak bezala [21].

6. METODOLOGIA

Atal honetan, alde batetik, datu-baseak definituko ditugu eta beste alde batetik, QRSak zehazki detektatzen laguntzen duen tresna ezaugarrituko da.

Horretarako, bi GUI diseinatu eta inplementatu eta hainbat funtzio sortu dira. Ondoren, tresna bakoitzak zertan datzan azalduko da. Tresna guzti hauek, MATLAB softwarearen guide paketea erabiliz garatu eta moldatu dira.

6.1. Datu-basea sortzearen prozesua

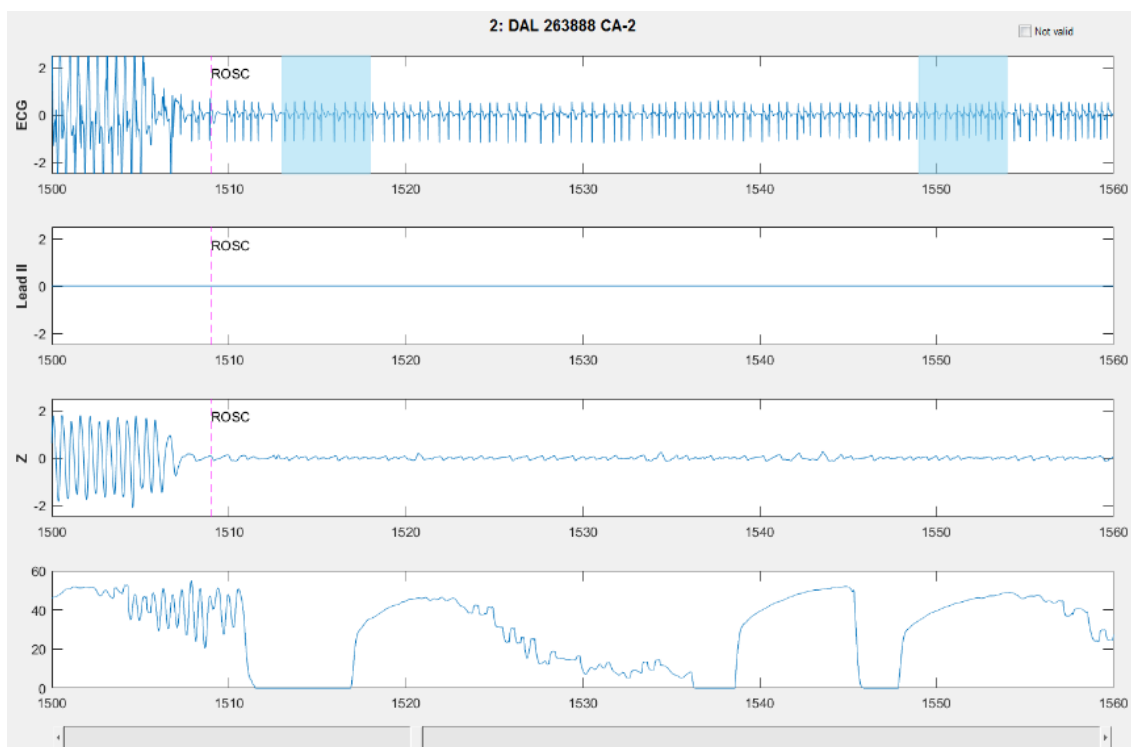
Lan honetan erabilitako datuak Texaseko Unibertsitateari lotutako *DFW Center of Resuscitation Research (UTSW, Dallas)* agentziak bildutakoak dira. Episodio guztiak, pazienteko bat, Philips HeartStart MRx monitorea/desfibriladorea erabiliz lortu ziren, zeinak EKG seinalea 250 Hz-ko laginketa maiztasunarekin eta 1.03 μ V-ko erresoluzioarekin grabatzen duen.

EKG seinalea eta bular-inpedantzia (BI) seinalea 1015 episodiotan zeuden 1561etik. Episodio bakoitzaren informazio klinikoan oinarrituz bi taldetan banatu dira episodioak: ROSC (pultsua errekuperatu duten episodioak) eta noROSC (pultsua errekuperatu ez duten episodioak). Aurreneko taldean ROSC unea ezaguna da, une hau pultsua errekuperatzen duen unea da eta bertako klinikoak apuntatutakoa da. Episodioa baliozkoa izateko ezinbesteko ezaugarria da une honen ondoren sakadak edo desfibrilaziorik ez egotea, ziurtatzeko pultsua ez duela galdu. Bigarren taldeko episodioak berriz, noROSC, bertan hildakoak soilik hartu dira kontutan (garraiatuak izan zirenak kendu egin dira).

Sakadak BI seinalean detektatzen dira eta geldialdietan erritmo organizatua agertzen denean kontutan hartzen da. Mozketak 5 segundoko iraupena dute. Bi PR artean 30 segundoko distantzia minimoa utzi da eta ROSC episodioetatik mozketa hauek soilik hartu dira. PEA mozketak berriz noROSC episodioetatik soilik hartu dira eta segundo bateko distantzia minimoa utzi da bi PEA artean (irudietan ikusten den bezala).

Azken datu-baseak 279 episodio desberdinetako mozketak ditu barnean, 3914 mozketak guztira (2372 PR eta 1542 PEA).

8. irudian ikus daiteke mozketak egiteko erabili den ingurunearen adibide bat. Bertan, berdez markatuta dauden mozketak proiektuan erabiliko ditugunak dira. Lehen aipatu den moduan, 5 segundukoak dira eta kontuan hartuta adibide hau PR seinale batena dela, mozketatik mozketara 30 segunduko distantzia minimoa dago.



Irudia 8: Mozketak egiteko erabilitako ingurunea

Informazio guztia data_PR edo data_PEA deituriko egitura batean gordeko da seinalearen erritmoaren arabera, erregistro bakoitzari buruz ezinbestekoa den informazioa gehituz. Honako hau izango da data_PR eta data_PEA barruan gordeko den informazioa:

- Erregistro bakoitzak izen ezberdin bat izango du, elkarren artean ondo bereizi ahal izateko.
- Paziente ezberdinak bereiztu ahal izateko, bakoitzak identifikatzaile bat izango du. Hau da, paziente bakoitza zenbaki bati esleituta egongo da.
- Aplikatu algoritmo bakoitzaren QRS marken denbora uneak gordeko dira.

- EKG seinale bakoitzaren erritmo mota adieraziko da, horren arabera, seinale horren informazioa datu-base batean edo bestean egongo da.

6.2. Datu-basea kudeatzeko tresna

Garatutako lehenengo tresna honek, PR datu-baseko 2372 eta PEA datu-baseko 1542 mozketak kudeatzeko balio du. Honen bidez, mozketak bakoitzaren seinaleak bistaratu ahal izango ditugu eta bertan agertzen diren QRSen markak eskuz gehitu ahal izango ditugu. Bertan, EKG seinalea bistaratzeaz gain, espektroaren eta inpedantziaren seinalea ere bistaraten dira, QRS konplexuak non dauden jakitea errazago izateko.

6.2.1. Zehaztapenak

- Menu baten bitartez zein episodio ikusi aukeratzeko da, eta hurrengo erregistrora edo aurreko erregistrora joateko aukera dago.
- Marka gehitzeko + botoiari eman beharko zaio. Ondoren, adierazitako tokian marra bertikal gorri bat irudikatuko da seinalearen gainean.
- Markak ezabatu daitezke – zeinuari emanaz.
- 2 radiobutton seinale ezberdinekin, bertan aukeratzeko da ea irudikatu nahi diren seinaleak PR motakoak edo PEA motakoak diren.
- Erregistro bakoitza errebisatzean Revised izeneko checkbox-a markatuko da.
- Erregistroetan inkoherentziak behatuz gero, Not valid moduan markatuko dira.
- Zehaztutako erregistroaren maiztasunaren eta pazientearen IDaren balioa bistaratuko da.
- Emaizak datu-basean gordeko dira.
- Markak definitu ondoren, datu-baseko erregistro bakoitzak izango duen egitura hurrengoa izango da:

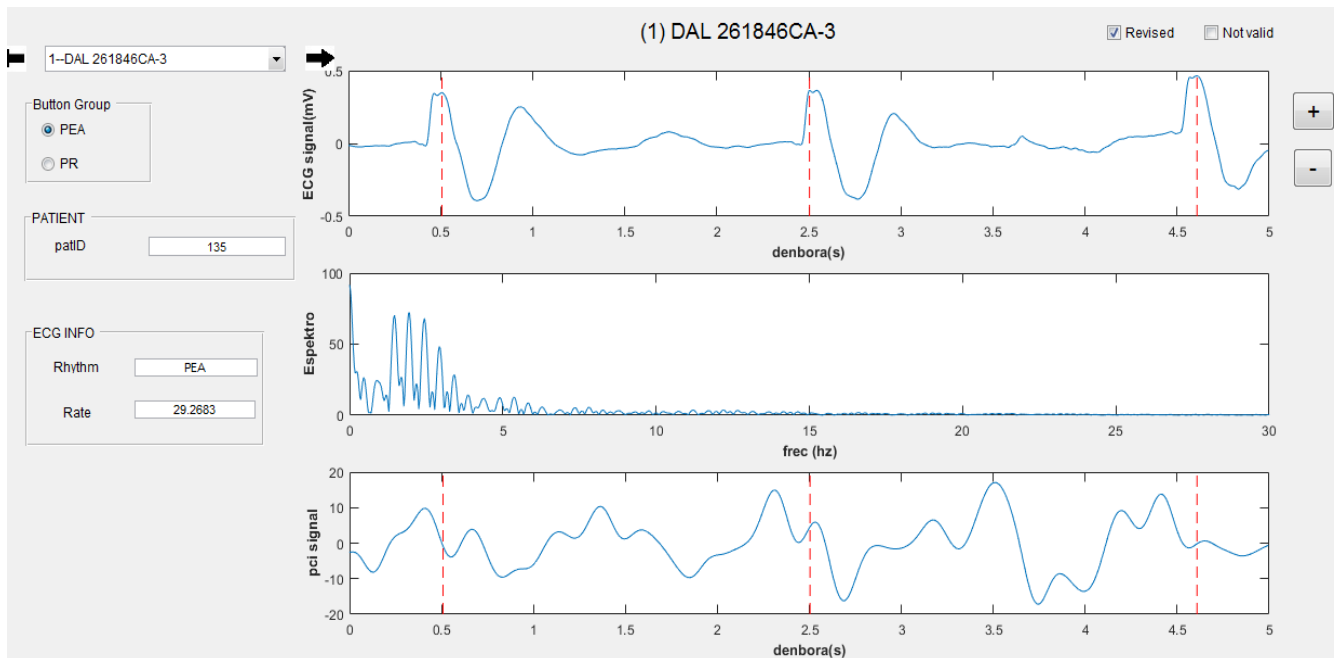
```

reg_name: 'DAL 263360 CA-6'
fs_ecg: 250
s_ecg: [1250x1 double]
fs_pci: 200
s_pci: [1x1000 double]
rhythm: 1
ini: 1.8161e+03
fin: 1.8211e+03
ID: 1
patID: 1
revised: 1
valid: 1
pos_eskuz: [0.3040 0.9400 1.5880 2.2280 2.8720 3.5040 4.1440 4.7880]

```

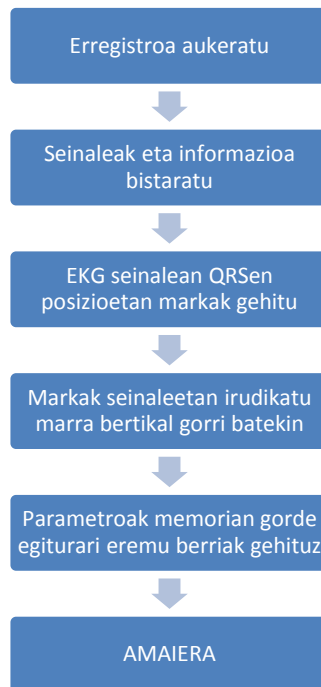
Irudia 9: QRS markak definitzeko tresnaren bukaerako datu-basearen egitura eremu berria gehituta

10. irudiak tresna honen diseinu orokorra erakusten du:



Irudia 10: QRS markak definitzeko ingurunea

6.2.2. Funtzionamendua



Irudia 11: Fluxu-diagrama: QRS markak definitzeko tresnaren funtzionamendua

6.3. QRS detektore klasikoak frogatzeko tresna

Tresna honek, bi datu-baseen ,mozketen jatorrizko seinaleak eta aplikatutako detektore mota bakoitzarekin QRSAk detektatzeko jarraitutako prozesuen amaierako seinaleak ere bistaratuko ditu. Bertan, aurreko tresnarekin eskuz markatutako marra gorri bertikalez aparte, detektore bakoitzak detektatutako QRSen momentuak ere adierazita agertuko dira marra urdin bertikal baten bidez. Horretarako, algoritmoak aplikatu ondoren, algoritmo bakoitzarekin lortutako QRS posizioen emaitzak datu-basean gordeta egon beharko dira, tresna honek posizio horiek bistaratu ahal izateko:

```

reg_name: 'DAL 263360 CA-6'
fs_ecg: 250
s_ecg: [1250x1 double]
fs_pci: 200
s_pci: [1x1000 double]
rhythm: 1
ini: 1.8161e+03
fin: 1.8211e+03
ID: 1
patID: 1
revised: 1
valid: 1
pos_eskuz: [0.3040 0.9400 1.5880 2.2280 2.8720 3.5040 4.1440 4.7880]
pos_HT: [0.3080 0.9480 1.5920 2.2320 2.8760 3.5120]
posizioak_sqrs: [0.2760 0.9160 1.5600 2.2040 2.8480 3.4800 4.1200 4.7640]
posizioak_gqrs: [0.2720 0.9120 1.5560 2.1960 2.8400 3.4760 4.1120]
posizioak_wqrs: [0.2520 0.8920 1.5360 2.1760 2.8160 3.4520 4.0920 4.7360]
pos_ecgPuwave: [0.9400 1.5880 2.2280 2.8720 3.5040 4.1440]

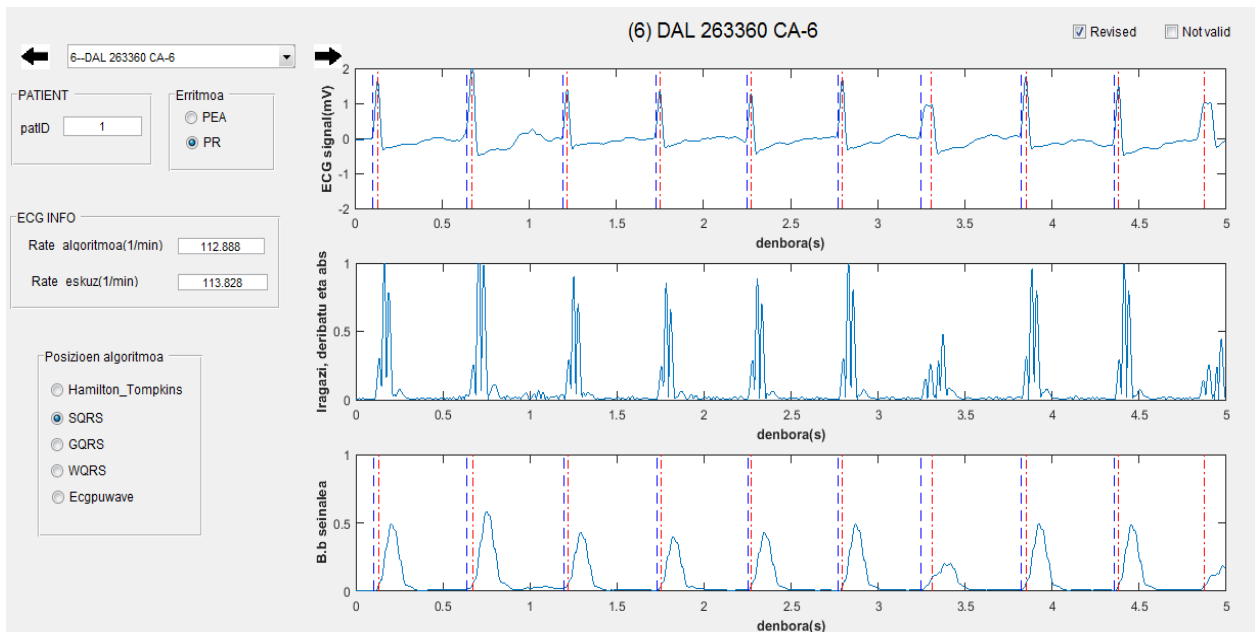
```

Irudia 12: QRS detektore klasikoak frogatzeko tresna aplikatu ahal izateko datu-basearen egitura gehitutako eremu berriekin

6.3.1. Zehaztapenak

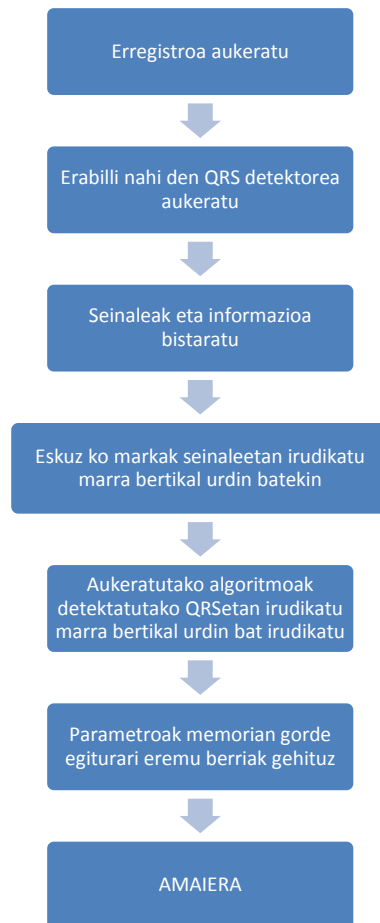
- Menu baten bitartez zein erregistro ikusi aukeratzeko da, eta hurrengo erregistrora edo aurreko erregistrora joateko aukera dago.
- 2 radiobutton, seinale ezberdinekin, bertan aukeratzeko da ea irudikatu nahi diren seinaleak PR motakoak edo PEA motakoak diren.
- Posizioen algoritmoen multzoan 5 radiobutton daude, hauen bidez, aukeratutako erregistroari zein detektore (Hamilton-Tompkins, sqrs, gqrs, wqrs eta ecgpuwave (Pan-Tompkins)) aplikatuko zaion erabakiko da.
- Zehaztutako erregistroaren eskuzko marken maiztasunaren eta aukeratutako metodoak detektatutako marken maiztasunaren balioak bistaratu dira.
- Eskuz ezarritako markak marra bertikal gorri batekin eta algoritmoak detektatutako QRSak marra bertikal urdin batekin adierazita agertuko dira seinalearen gainean.

13. irudian, QRS detektore desberdinak frogatu eta detektatutakoa irudikatzeko erabili den tresnaren diseinu orokorra aurkezten da:



Irudia 13: QRS detektore klasikoak antzemandako markak irudikatzeko erabili den tresnaren diseinu orokorra

6.3.2. Funtzionamendua



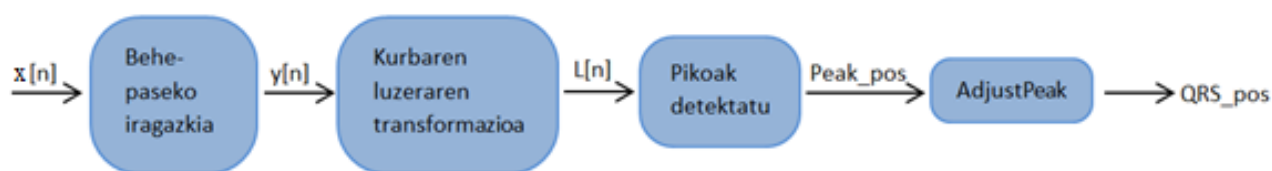
Irudia 14: Fluxu-diagrama: Detektore desberdinen emaitzak irudikatzeko tresnaren funtzionamendua

6.4. Short-Time QRS (ST-QRS) detektorea

Diseinaturiko algoritmoaren helburua denbora laburreko seinaleetan QRSak detektatzea izango da bai PR bai PEA erritmo organizatuekin. Paziente egonkorrekin alderatuz, bihotz-geldiketako erritmo erregularrak laburrak dira, alde batetik, eta uhin forma oso desberdinak dituzte, bestetik.

6.4.1. Eskema orokorra

Algoritmoa garatzeko orduan, aurretik garatuta dauden QRS detektoreen algoritmoen ebaluazioa egin da eta lortutako emaitzetan oinarrituz gure algoritmoa garatu da. 6.6 atalean ikusiko den moduan PR eta PEA kasuak kontuan hartuta, SE eta PPV emaitza onenak eman dituen algoritmoa, WQRS detektorea izan da, ST-QRS algoritmoa sortzeko oinarri moduan hartu dena.



Irudia 15: Short-Time algoritmoaren eskema orokorra

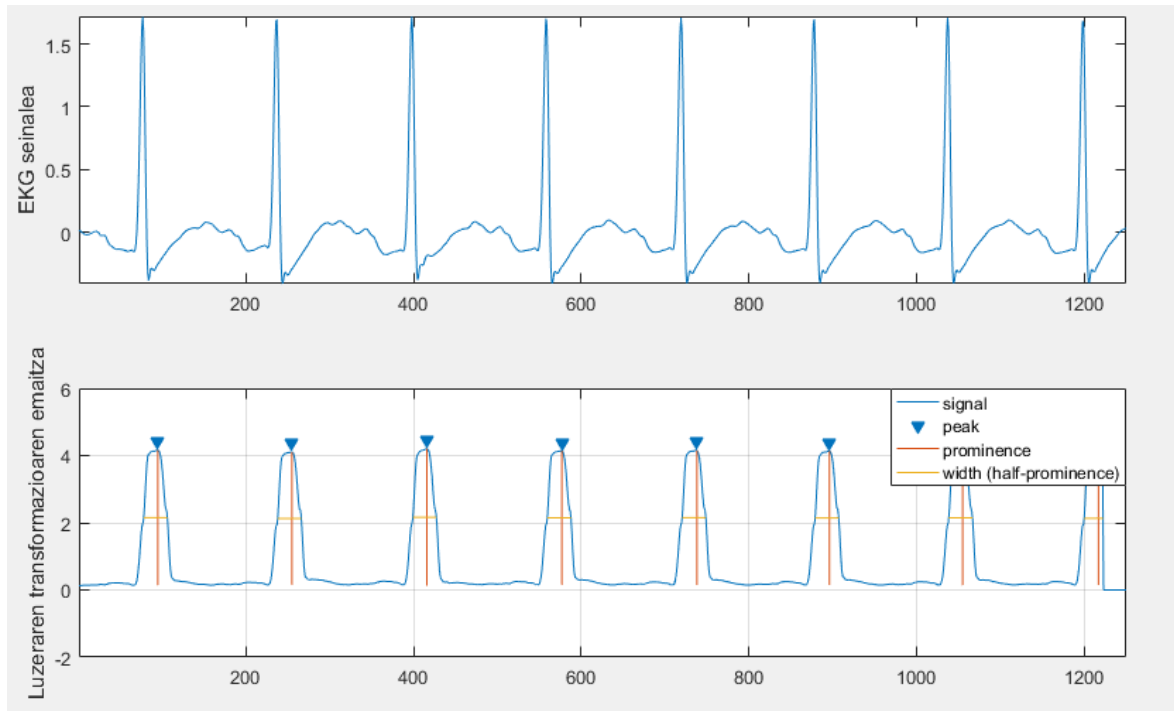
Algoritmoaren eskema orokorra ondorengo hau izango da, non sarrerako seinalea ($x[n]$) behe-paseko iragazkitik pasatu eta $y[n]$ -ri kurbaren luzeraren transformazioa aplikatu ondoren, pikoak detektatzen diren. Bukatzeko, transformazioa aplikatzean atzerapen txiki bat agertzen denez, MATLABen sortutako adjustPeak funtzioa aplikatuko da atzerapen hori kentzeko eta QRSaren posizioa leku egokian kokatzeko.

Hurrengo lerroetan, eskema orokorrean agertzen diren elementuak definitu eta euren ezaugarriak azalduko dira:

- Behe-paseko iragazkia: Sarreran EKG seinaleari, $x[n]$ -ri behe-paseko iragazki bat aplikatzen zaio f_{c1} - f_{c2} Hz bitarteko osagaiak ezabatzeko.
- Kurbaren luzeraren transformazioa: Leiho-zabalera (w -width) konkretu batean, $y[n]$ seinalearen zatiaren luzera kalkulatu du. Beraz, QRS konplexuari dagokion EKGaren kurbak orokorki EKGaren beste atalak baino luzera handiagoa izango du.
- Pikoak detektatu: Kurbaren luzeraren transformazioa aplikatu ondoren, $L[n]$ -n pikoak detektatuko ditu zabalera minimo (QRS_{min}), pikoaren arteko distantzia minimo bat (RR_{min}) eta pikoaren arteko prominentzia minimo bat kontuan hartuta. 16.irudian ikus dezakegu tontorraren prominentzia besteekiko laranjaz

adierazita eta luzeraren transformazioa aplikatu ondoren lortutako emaitzaren zabalera horiz adierazita.

- AdjustPeak: 16.irudian geziaren bidez adierazita dauden pikoak, peak_pos (goiko irudian), EKG seinalearekiko atzeratuta daudela ikus daiteke. Beraz, funtzio honen helburua, luzeraren transformazioaren emaitza (L[n]) doitzuz EKG seinalean dauden R uneak itzultzea izango da, QRS_pos izendatutakoak 15. irudian.



Irudia 16: Jatorrizko EKG seinalea eta bere luzeraren transformazioa.

6.4.2. Algoritmoaren optimizazioa

Algoritmoaren optimizazioa, algoritmoaren barnean dauden parametroei ausazko balioak emanez egin da, kontuan hartuta aldagai bakoitzari tarte-balio zehatz bat eman zaiola, aldagai bakoitzari emandako ausazko balioa zentzuzkoa izateko. Horretarako, seinale guztiak erabiliz 1000 iterazio egin dira erritmo (PEA eta PR) bakoitzean.

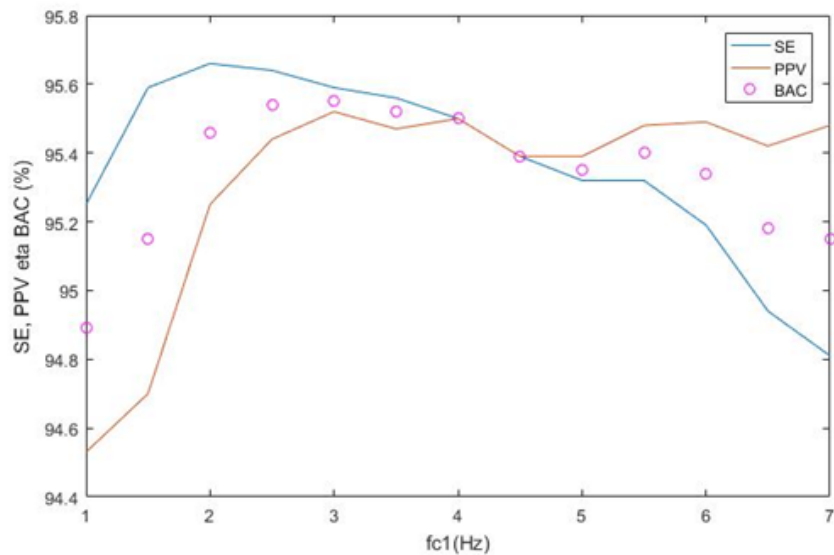
Algoritmoa optimizatzeko aztertu diren balioak hurrengoak izan dira (parentesi artean frogatuko den balio-tartea adierazten da) :

- Fc1 (1:1:7 Hz), fc2 (20:2:40 Hz): Behe-paseko iragazkiaren mozketza maiztasuna.
- W-width (0.08:0.01:0.2 s): QRSaren iraupenari buruzko informazioa eta QRS-en kokapena lortzeko, leihoaren zabalerearen (w-width) tamaina QRS konplexu

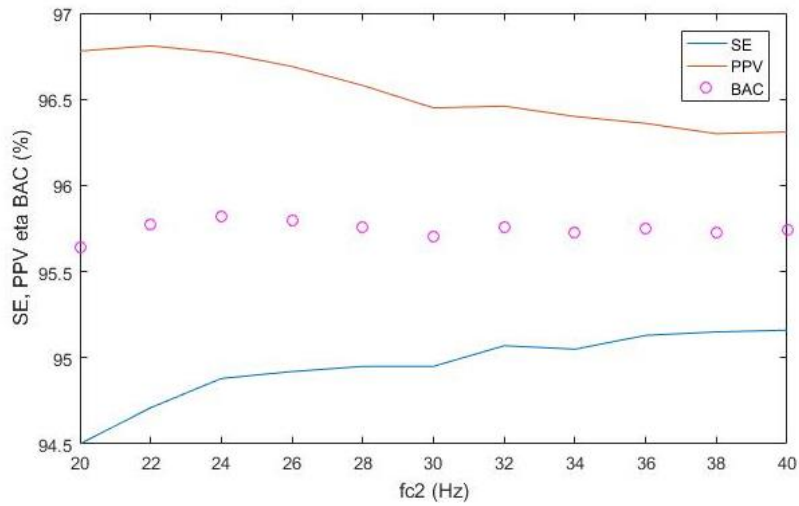
zabalenaren zabaleraren berdina izan beharko da gutxienez. Baina, kontuan hartu behar da ezin dela oso handia izan bestela bi QRS leiho berean hartzeko arriskua dagoelako.

- RRmin (0.1:0.05:0.4 s): Bi R uneen artean egon behar duen tarte minimoa. Horren bidez, Q eta T uhinak baztertuko dira.
- QRSmin (0.01:0.01:0.1 s): Seinaleari kurbaren luzeraren transformazioa aplikatu ondoren, lortutako emaitzak izan behar duen zabalera minimoa QRS moduan definitzeko. Hain zuzen ere, 16. irudian horiz marraztuta dagoen zabalera da.

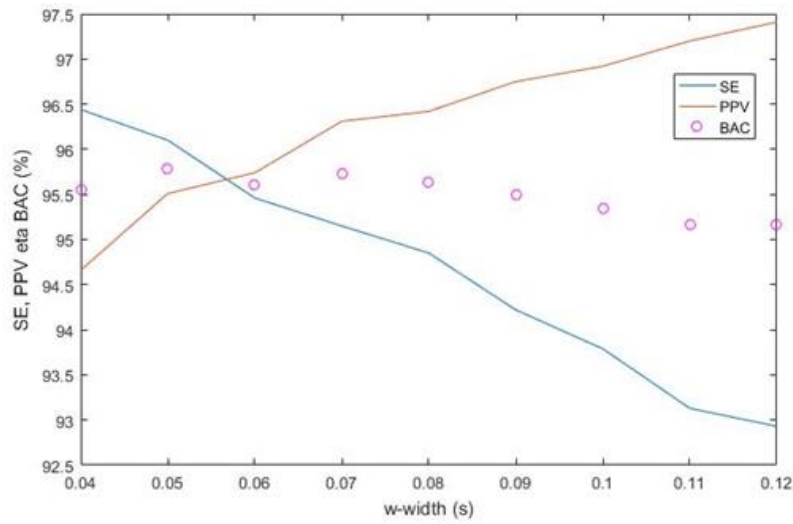
Hurrengo irudietan, aldagai bakoitzak SE eta PPV balioetan duen eragina ikus daiteke:



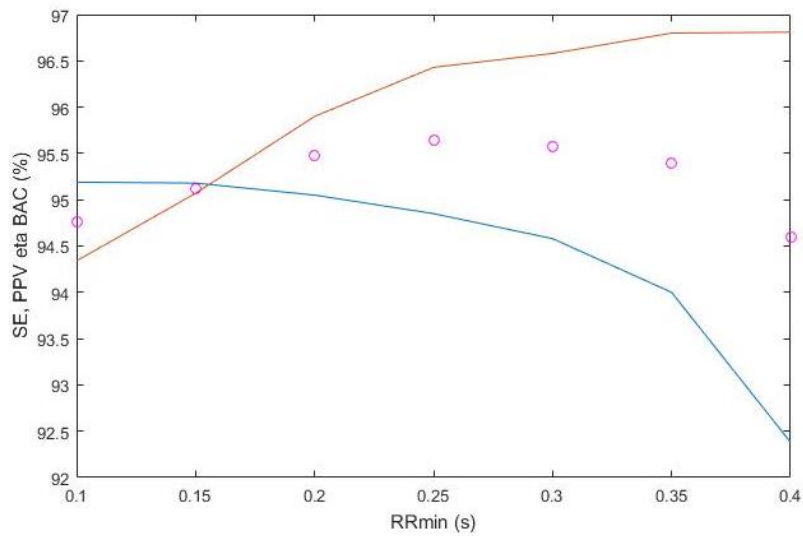
Irudia 17: Fc1 parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan



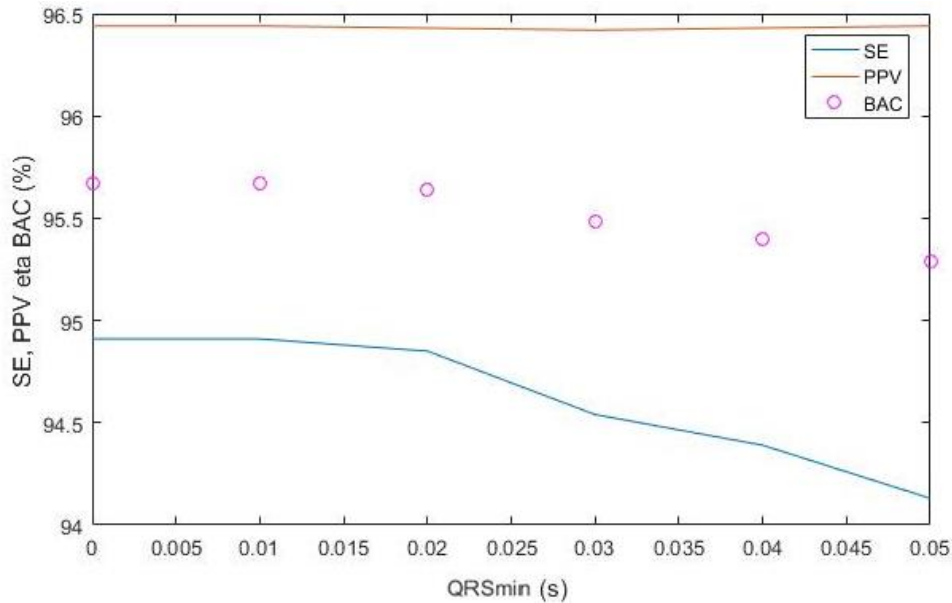
Irudia 18: Fc2 parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan



Irudia 19: W-width parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan



Irudia 20: RRmin parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan



Irudia 21: QRSmin parametroaren eragina SE, PPV eta BAC balioetan

Beraz, optimizazioa egin ondoren hurrengo ondorioak atera dira grafikoei erreparatuz:

- Fc1 eta fc2: Fc1 3 Hz balioa duenean, lortzen da BAC handiena. Fc2 balioak, aldiz, ez du eragin handirik BACean, edozein balio ona litzateke 20-40 Hz tartean.
- W-width: 0.07 s-kin emaitza onena lortzen da.
- RRmin: 0.25 s-ekin emaitza onena lortzen da, hortik gora SEaren balioa asko murrizten delako PPV balioa handitzen denarekin alderatuz. Bestalde, 0.25 s-etik beherako balioekin nahiz eta SE-ren balioa pixka bat handitu PPV-aren balioa nabarmen jaisten da.
- QRSmin: 0.02 s balioarekin balio onenak lortu dira. Beraz, ondorioztatu daiteke zenbat eta zabalera minimoa txikiagoa izan emaitza hobekak lortzen direla, width_min balioa zenbat eta handiagoa izan SEren balio txikiagoa lortzen delako.

Bukatzeko, ondorio hauek kontuan izanda eta emaitza onak lortutako parametroekin frogak egin ondoren, ST-QRSrentzat parametroen balio optimoenak hurrengoak direla ondorioztatu da:

F1 (Hz)	F2 (Hz)	W-width (s)	RR_min (s)	QRSmin (s)
3	24	0.07	0.25	0.01

Taula 1: Optimizatutako parametroen balio aproposenak

6.5. Emaitzak

Lortutako emaitzei dagokionez, lehenengo fidagarritasun neurketak deskribatuko dira eta ondoren, algoritmo klasikoaren eta ST-QRS detektorearen emaitza orokorrak azalduko dira.

Emaitzak I. eranskinean sakonago azalduta daude.

6.5.1. Emaitzen fidagarritasun neurketak

Erabilitako algoritmoak emandako emaitzak aztertzeko erabili diren neurketak ondorengoak dira:

- Banaketa normalaren ebaluazioa: Erroreen banaketa normala den edo ez ebaluatzeko, MATLABeko “kstest” funtzioa erabili da, One-sample Kolmogorov-Smirnov testa aplikatzen duena. Funtzio honek, bi parametro itzultzen ditu: aldagaia normala izatekotan 0 bat itzuliko du eta bestalde, normala ez bada itzulitako balioa 1 izango da.
- Bland-Altman grafikak: Bi datu multzo desberdin alderatzeko oso egokia da. Grafiko honetan, y ardatzean errorea adierazten da eta x ardatzean bi datu multzoen arteko batezbestekoa. Kasu honetan, banaketa normalaren ebaluaketa egin ondoren errorearen distribuzioa normala ez dela ondorioztatu denez, puntuez gain hiru lerro marrazten dira. Erdikoa errorearen mediana da (distribuzio normala izatekotan batazbestekoa izaten da) eta beste biak errore kasuen %95a biltzen duten mugak adierazten dute (distribuzio normala izatekotan desbideratze tipikoa adieraziko zuten).
- Sortutako algoritmoa eta ebaluatutako algoritmo desberdinak QRSen uneak detektatzen zein efizientzia duten neurtu da. Honetarako, SE, PPV eta BAC balioak ebaluatu dira:
 - o SE parametroak eskuz markatutako QRS konplexuetatik algoritmoak zenbat detektatzen dituen zehazten du.
 - o PPV parametroak algoritmoak detektatzen dituen QRS konplexuetatik, zenbat diren benetakoak.
 - o BAC SE eta PPV-ren arteko batez bestekoa adierazten du.

6.5.2. Algoritmoen emaitzak

Atal honetan, algoritmo klasiko eta ST-QRS detektorearekin lortutako bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak eta SE, PPV eta balanced accuracy (BAC) balioak kalkulatu dira.

Beheko taulan algoritmo bakoitzarekin PR erritmodun seinaleak erabiliz lortutako efizientzia neurtzen duten aldagaien balioak agertzen dira:

PR			
Metodoak	SE (%)	PPV (%)	BAC (%)
Hamilton-Tompkins	85.01	93.00	89.00
Pan-Tompkins	79.03	97.59	88.31
SQRS	93.44	99.00	96.22
GQRS	83.44	99.17	91.3
WQRS	99.66	92.12	95.89
ST-QRS	97.79	99.14	98.47

Taula 2: Algoritmoek PR erritmoekin lortutako efizientzia balioak

Bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak:

PR				
Metodoak	Median	Pr25	Pr75	error>10%
Hamilton-Tompkins (2371)*	0.53	0	2.35	11.60
Pan-Tompkins (2367)*	0.35	0	1.86	8.96
SQRS (2341)*	0.22	0	0.73	4.19
GQRS (2356)*	0.40	0	1.65	6.45
WQRS (2369)*	0.41	0	0.97	11.23
ST-QRS (2372)*	0	0	0.42	2.40

Taula 3: PR erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin

**parentesi artean dauden zenbakiak datu-basean dauden 2372 seinaletik metodo bakoitzak zenbat seinale kontuan hartzen dituen adierazten du. Kasu gehienetan baztertutako seinaleak, metodo horren atalase-balioa seinale horrek duen anplitudea baino handiagoa delako da.*

Beheko taulan algoritmo bakoitzarekin PEA erritmodun seinaleak erabiliz lortutako efizientzia neurtzen duten aldagaien balioak agertzen dira:

PEA			
Metodoak	SE (%)	PPV (%)	BAC (%)
Hamilton-Tompkins	84.10	59.12	71.61
Pan-Tompkins	71.32	88.29	79.81
SQRS	46.9	98.14	72.52
GQRS	49.14	97.53	73.34
WQRS	97.53	72.39	84.96
ST-QRS	94.88	96.77	95.83

Taula 4: Algoritmoek PEA erritmoekin lortutako efizientzia balioak

Bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak:

PEA				
Metodoak	Median	Pr25	Pr75	error>10%
Hamilton-Tompkins (1538)*	11.92	0.61	187.50	56.50
Pan-Tompkins (1307)*	1.21	0.19	27.64	36.65
SQRS (830)*	0.06	0	0.88	9.64
GQRS (780)*	0.84	0.22	14.29	27.69
WQRS (1536)*	1.73	0.24	35.30	41.93
ST-QRS (1531)*	0	0	0.42	2.40

Taula 5: PEA erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin

Emaitzen arabera, WQRS da algoritmo klasikoen artean emaitza onenak ematen dituenena. Nahiz eta iruditu dezakeen adibidez azkenengo taula honetan WQRS-ren errorea nahiko handia dela besteekin alderatuz, kontuan hartu behar da WQRS algoritmoa 1536 kasuekin jardun dela eta adibidez SQRS algoritmo 830 kasuekin. Horren ondorioz, errore kopurua askoz txikiagoa da.

PR kasuei dagokionez, garatutako ST-QRS algoritmo berriarekin errore kopurua asko jaitsi dela ikus daiteke. Hori ondoriozta daiteke, batez ere, 3. taulako azken balioari erreparatuz, errore kopurua %10-a baino handiagoa bakarrik mozketa guztien %2.4-n izan direlako.

Bestalde, PEA erritmodun seinaleetan ere antzeman daiteke algoritmo klasikoak izan dituzten emaitzekin alderatuz, ST-QRS detektorearen bidez hobekuntza nabari bat lortu dela.

7. PLANGINTZA

Atal honetan proiektuan zehar burututako fase desberdinak ezaugarritzen dira. Proiektua lan paketeetan (LP) desberdinetan banatzen da. Hasteko, lan taldea deskribatzen da. Ondoren, LP guztiak azaldu eta Gantt diagrama batean irudikatzen dira. Bukatzeko, mugarriak deskribatzen dira.

7.1. Lan-taldea

Proiektu hau lan-talde honek burutu izan du:

Kodea	Izen-Abizenak	Erantzukizuna	Rola
K1	Elisabete Aramendi	Senior Ingeniaria	Proiektuaren gainbegiraketa eta zuzenketa
K2	Erik Alonso González	Senior Ingeniaria	Proiektuaren gainbegiraketa eta zuzenketa
K3	Lidia de Luis	Junior Ingeniaria	Proiektuaren burutzea

Taula 6: Proiektuko partaideak

7.2. Lan paketeen deskribapena

7.2.1. LP 1 Proiektuaren kudeaketa eta gainbegiraketa

LP 1-ren iraupena: 253	Hasiera data: 2017/11/13	Amaiera data: 2018/07/16
LP 1.1 Proiektuaren proposamena		
Proiektuaren zuzendariak gradu amaierako lanaren oinarriak azaldu ikasleari.		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2017/11/13• Amaiera data: 2017/11/14• Baliabide teknikoak: Bibliografia (medikuntza eta seinale medikuen inguruko artikulak eta liburuak).• Giza baliabideak: Bi senior ingeniari (5 ordu bakoitzak).		
M1: Proiektuaren hasiera.		
LP 1.2 Proiektuaren kudeaketa eta jarraipena		
Proiektua bideratzeko eta akatsak zuzentzeko proiektu egilearen eta zuzendarien		

arteko bilera periodikoak.

- Hasiera data: 2017/11/15
- Amaiera data: 2018/07/16
- Baliabide teknikoak: Bi ordenagailu (30 ordu bakoitzak).
- Giza baliabideak: Bi senior ingeniari (40 ordu bakoitzak).

7.2.2. LP 2 Proiektuaren prestaketa

LP 2-ren iraupena: 33	Hasiera data: 2017/10/16	Amaiera data: 2017/11/17
LP 2.1 MATLAB ikastaroa		
<p>Ikaslea MATLAB ingurunean barneratzeko ikastaroa programaren eta interfaze grafikoen inguruko oinarrizko ezagutzak bereganatzeko.</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2017/10/19• Amaiera data: 2017/11/17• Baliabide teknikoak: Hiru ordenagailu eta MATLAB hiru lizentzia (batak 20 ordu eta beste biak 4 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniaria (20 ordu) eta bi senior ingeniari (4 ordu bakoitzak).		
LP 2.2 Aurretik egindako ikerketak		
<p>Proiektuarekin erlazionatutako artikulua eta liburuen bilaketa eta irakurketa.</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2017/10/16• Amaiera data: 2017/11/17• Baliabide teknikoak: Bibliografia (medikuntza eta seinale medikuen inguruko artikulua eta liburuak) eta ordenagailu bat (30 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniaria (40 ordu).		
<p>M2: Proiektua definituta. Proiektu definitu da MATLAB ikastaroan beharrezkoak izango diren ezagutzak eskuratzean eta artikulua aztertutakoan erabiliko diren prozesu eta metodoak erabakiz.</p>		

7.2.3. LP 3 Datu-basearen definizioa

LP 3-ren iraupena: 110	Hasiera data: 2017/11/18	Amaiera data: 2018/03/07
LP 3.1 Datu-basearen informazioa aztertu		
<p>Erregistroak bi datu-baseetan aztertzen dira: PEA (1542 erregistro) eta PR (2372 erregistro). Datu-baseko eremuak eta egituren informazioa behatu.</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2017/11/18• Amaiera data: 2017/11/21• Baliabide teknikoak: Ordenagailu bat (20 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (20 ordu)		
LP 3.2 Fitxategiak bistaratzeko ingurunea garatzea		
<p>.mat formatuan dauden fitxategiak bistaratu eta markak gehitzeko GUIa sortu. Proiektuaren lehenengo GUIa diseinatu eta garatzen da. Honen helburua, seinaleak bistaratzeko eta seinaleetan QRSen posizioen markak eskuz gehitzea da. QRS horien posizioak datu-basean gordez.</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2017/11/22• Amaiera data: 2017/02/19• Baliabide teknikoak: Ordenagailu bat (40 ordu) eta MATLAB lizentzia (30 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (40 ordu).• Entregagaiak: Garatutako GUIa		
LP 3.3 Markak gehitu		
<p>Datu-basea osatuko duten eskuzko markak gehitu QRSen posizioak bana-banan markatuz. Beste bi ingeniari markaketa hauek errebisatu eta zuzendu dituzte.</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2018/02/20• Amaiera data: 2018/03/07• Baliabide teknikoak: Hiru ordenagailu bat (30 ordu batak, besteak 10 ordu eta besteak 5 ordu) eta MATLAB lizentzia (30 ordu batak besteak 10 ordu eta besteak 5 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (30 ordu) eta bi senior ingeniari (10 ordu batak eta 5 ordu besteak).• Entregagaiak: Eguneratutako datu-basea.		
<p>M3: Datu-basea definituta. Markak gehitu dira eta datu-basea garatu da beharrezko informazioarekin.</p>		

7.2.4. LP 4 QRS detektore klasikoen azterketa

LP 4-ren iraupena: 47	Hasiera data: 2018/03/08	Amaiera data: 2018/04/23
LP 4.1 QRS detektore klasikoen informazioa eta .mat-ak bilatu		
<p>QRS detektore klasikoei buruzko informazioa bilatu eta QRSak detektatzeko jarraitutako prozesu guztia aztertu eta ulertu. Honekin batera, algoritmo hauen .mat aurkitu, gero inplementatu ahal izateko.</p> <ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2018/03/08• Amaiera data: 2018/03/19• Baliabide teknikoak: Bibliografia (QRS detektoreen artikulua).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (20 ordu).• Entregagaiak: Garatutako GUIa.		
LP 4.2 Bigarren GUIa garatu		
<p>Proiektuaren bigarren GUIa diseinatu eta garatzen da. Honen helburua, QRS detektoreen algoritmo klasikoekin lortutako QRSen markak eta eskuz jarritako markak seinaleetan bistaratzea izango da. Algoritmo guztiek detektatutako QRSen posizioak datu-basean gordez.</p> <ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2018/03/20• Amaiera data: 2018/04/23• Baliabide teknikoak: Ordenagailu bat (40 ordu) eta MATLAB lizentzia (40 ordu bat).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (40 ordu).• Entregagaiak: GUI berria eta datu-basea eguneratua		
M4: Ingurunea definituta: .mat-a gorde algoritmo bakoitzak lortutako QRSen posizioekin.		

7.2.5. LP 5 Algoritmo klasikoen emaitza estatistikoak kalkulatu

LP 5-ren iraupena: 60	Hasiera data: 2018/04/24	Amaiera data: 2018/06/18
LP 5.1 Algoritmo klasikoen emaitza estatistikoak kalkulatu		
<p>Fase honetan algoritmo klasikoen emaitzak estatistikoak kalkulatu dira eta grafikoetan irudikatuak izan dira.</p> <ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2018/04/24		

<ul style="list-style-type: none"> • Amaiera data: 2018/06/18 • Baliabide teknikoak: Hiru ordenagailu (30 ordu eta beste 2 bietako bakoitzak) eta MATLAB lizentzia (25 ordu batek eta beste 2 bietako bakoitzak). • Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (30 ordu) eta bi senior ingeniari (2 ordu bakoitzak)
M5: Emaitzak kalkulatu. MATLAB erabilita emaitzak irudikatu dira.

7.2.6. LP 6 ST-QRS detektorearen optimizazioa eta ebaluaketa

LP 6-ren iraupena: 34	Hasiera data: 2018/06/15	Amaiera data: 2018/07/18
LP 6.1 ST-QRS detektorea optimizatu		
<p>Atal honetan Short-Time QRS detektorearena algoritmoa garatu eta optimizatu da</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hasiera data: 2018/06/15 • Amaiera data: 2018/07/13 • Baliabide teknikoak: Hiru ordenagailu (20 ordu batek, 10 bestek eta 5 bestek) eta MATLABeko hiru lizentzia (20 ordu bata, 10 bestek eta 5 bestek). • Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (20 ordu) eta bi senior ingeniari (10 ordu bata eta 5 bestek). 		
LP 6.2 ST-QRS detektorearen algoritmoa ebaluatu		
<p>ST-QRS detektorearen algoritmoaren emaitzak estatistikoak kalkulatu dira eta grafikoetan irudikatuak izan dira.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hasiera data: 2018/07/13 • Amaiera data: 2018/07/17 • Baliabide teknikoak: Ordenagailu bat (10 ordu) eta MATLAB lizentzia (8 ordu). • Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (10 ordu). 		
M6: ST-QRS algoritmoa definituta eta ebaluatuta		

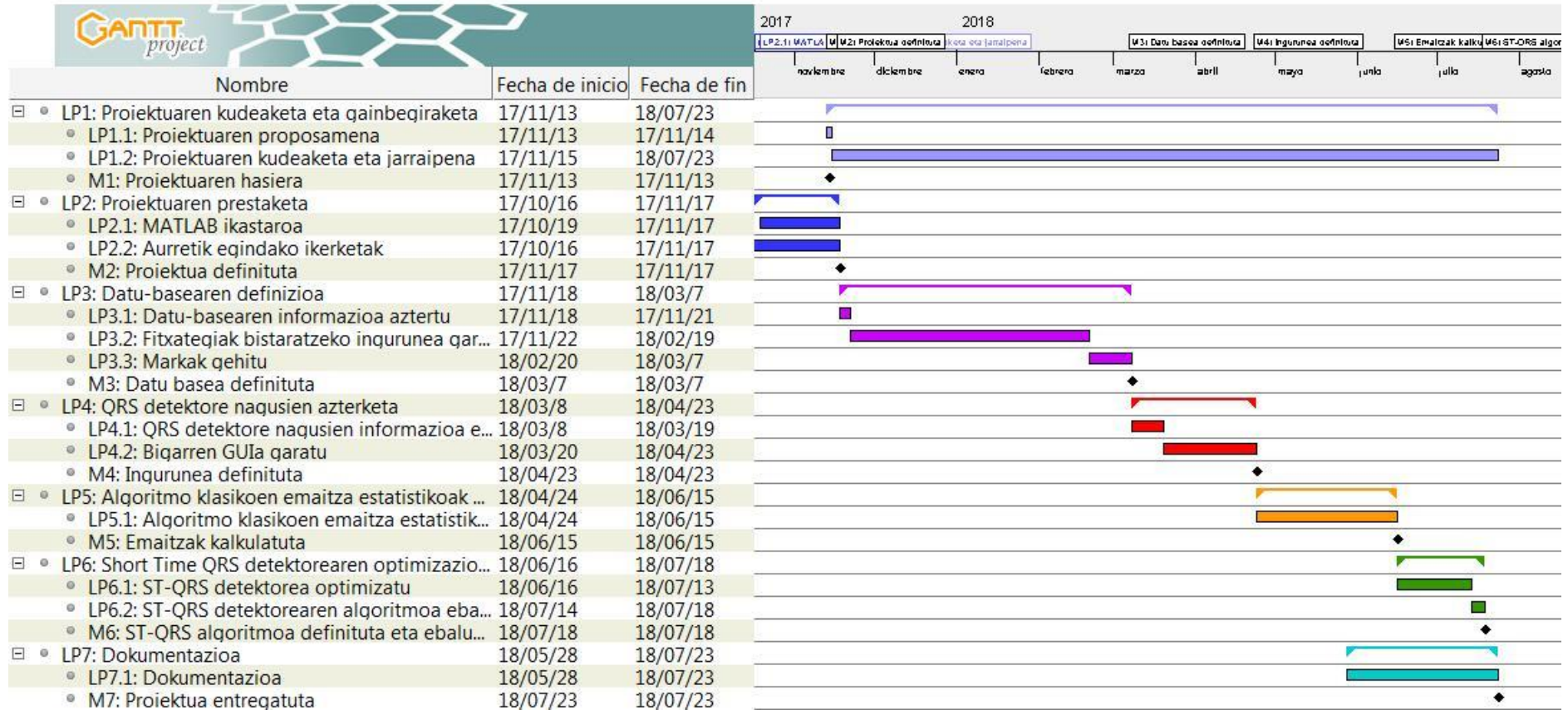
7.2.7. LP 7 Dokumentazioa

LP 7-ren iraupena: 57	Hasiera data: 2017/05/28	Amaiera data: 2018/07/23
LP 7.1 Dokumentazioa		
Proiektuaren inguruko dokumentazioa idatzi da.		
<ul style="list-style-type: none">• Hasiera data: 2018/05/28• Amaiera data: 2018/07/23• Baliabide teknikoak: Ordenagailu bat (40 ordu).• Giza baliabideak: Junior ingeniari bat (40 ordu).• Entregagaiak: Memoria.		
M7: Proiektua entregatuta. Dokumentazio guztia idatzi eta epe barruan entregatu da.		

7.3. Mugarriak

Mugarria	Deskribapena	Data
M1	Proiektuaren hasiera	2018/11/13
M2	Proiektua definituta	2018/11/17
M3	Datu-basea definituta	2018/03/07
M4	Ingurune definituta	2018/04/23
M5	Emaitzak kalkulatuta	2018/06/20
M6	ST-QRS algoritmoa definituta	2018/07/18
M7	Proiektua entregatuta	2018/07/23

Taula 7: Mugarriak



Irudia 22: Gantt diagrama

8. GASTU AITORPENA

Atal honetan, proiektuaren kostu totala kalkulatu da. Honetarako, kostu guztiak lau multzo nagusitan banatzen dira: barne orduak, amortizazioak, azpi-kontratazioak eta gastuak.

8.1 Kostuak

8.1.1 Barne orduak

Ataza honetan proiektuko partaide bakoitzaren lanordu kopurua eta horren kostuak azaltzen dira.

Partaideia	Kostua (€/orduko)	Ordu kopurua	Partaidearen kostua (€)
K1	60	71	4260
K2	60	61	3660
K3	30	310	9300
Barne orduen kostu totala:			17.220

Taula 8: Barne orduen kostuak

8.1.2 Amortizazioak

Ataza honetan proiektua garatzeko beharrezkoak izan diren baliabide naturalei dagozkien kostuak azaltzen dira.

Baliabidea	Bizitza erabilgarria (ordu)	Hasierako kostua (€)	Ordu kopurua (ordu)	Kostua (€)
K1 partaidearen ordenagailua	2000	800	56	22.4
K2 partaidearen ordenagailua	2000	800	46	18.4
K3 partaidearen ordenagailua	2000	500	280	70
MATLAB 2016b hiru lizentzia	1700	2000	215	253
Amortizazioen kostu totala:				363.8

Taula 9: Amortizazioen kostuak

8.1.3 Azpi-kontratazioak

Proiektu honetan ez da azpi-kontrataziorik egin, beraz ez du kosterik ekarri proiektuan.

8.1.4 Gastuak

Azpiatal honetan proiekturako erabili diren eta proiektua bukatu ondoren berrerabili ezin izango diren baliabideen kostua azaltzen da. Hurrengo taulak hauen kostu totalen laburpena erakusten du:

Baliabidea	Kostua (€)
Bulego materiala	30
Elektrizitatea	40
16 Gbyteko pendrivea	12
Guztira	82

Taula 10: Gastuen kostuak

8.2 Guztizko kostu aitortpena

Ataza	Kostua (€)
Barne orduak	17220
Amortizazioak	363.8
Azpikontratazioak	0
Gastuak	82
Guztira	17665.8

Taula 11: Guztizko kostu aitortpena

9. ARRISKU ANALISIA

Atal honen helburua proiektuaren garapenean izan daitezkeen arriskuak aztertzea izango da. Proiektua amaituta dagoenez, arriskuak ekidin direla esan daiteke, baina horretarako beharrezkoa izan da hasiera batean hauek aurreikustea.

Arrisku analisi hau aurrera eramateko bi kontzeptu hartu dira kontuan. Alde batetik, arriskuak berez gertatzeko duen probabilitatea eta bestetik, arrisku horrek proiektuan izan dezakeen eragina. Hortaz, arriskua balioesteko orduan, kontuan izango dira hau gertatzeko probabilitatea eta honek izan dezakeen eragina.

Jarraian arriskuen deskribapen bat eta bakoitza saihesteko kontigentzia neurriak azaltzen dira.

9.1. Datuen galera (A)

Proiektu honen lan gehiena ordenagailuan egingo da, eta informazioa galtzea (argia joan delako, ordenagailua matxuratu delako...) eragin handiko faktorea izango litzateke.

Hala ere, arrisku hau gertatzeko probabilitatea baxua da, datuak dispositibo desberdinetan gordez gero, arriskua saihestuko litzatekeelako.

9.2. Atzerapenak (B)

Aztertu beharreko bigarren arriskua aurreikusitako denboran proposatutako helburuak ez betetzea izango litzateke. Arrisku hau agertzeko probabilitatea handia da eta bere eragina baxua.

Hau saihesteko, zehaztasunez neurtu beharko da proiektuaren atal bakoitza burutzeko beharko den denbora, eta epe hau gainditzea eragin ahalko luketen faktoreak aurreikusi.

9.3. Arazo teknikoak garatutako tresnekin (C)

Gerta liteke proiektuan zehar garatutako tresnetan arazoak izatea. Esaterako, kodean akatsen bat egotea eta horrek, tresnak bere helburua ez betetzea ekarriko zuen.

Arrisku hau agertzeko probabilitatea ertaina da, eta eragina handia. Arrisku hau saihesteko hainbat neurri hartu beharko dira.. Alde batetik, garatuko diren interfazeak hasiera batetik oinarrizko kalitatea beteko dute. Bestalde, garatutako tresna bakoitza zatika-zatika probatuko da kodearen atal bakoitza ondo dagoela ziurtatzeko eta , kodean ager daitezkeen akatsak tresna erabili baino lehen zuzentzeko.

9.4. Langileen bajak (D)

Edozein proiektu edo lanetan kontuan hartu behar da edozein momentutan lankideren batek baja hartu dezakeela gaixotasun edo istripu bat izateagatik eta horren ondorioz, bere lana burutu ezin izatea denbora batez.

Probabilitatea baxua izan arren, inpaktu handiko gertaera kontsideratzen da. Izan ere, proiektuaren fasearen arabera, beste taldekide bat lanean ongi sartzeak atzerapen handiak ekarri ditzake, eta proiektu osoa arriskuan jarri dezake.

Arazo honi aurre egiteko komeni da, behintzat leku bakoitzean bi pertsonak ezagutza nahikoak izatea bertan lan egiteko. Modu honetan, batek baja hartuz gero, besteak egin ahal izango du bere lana.

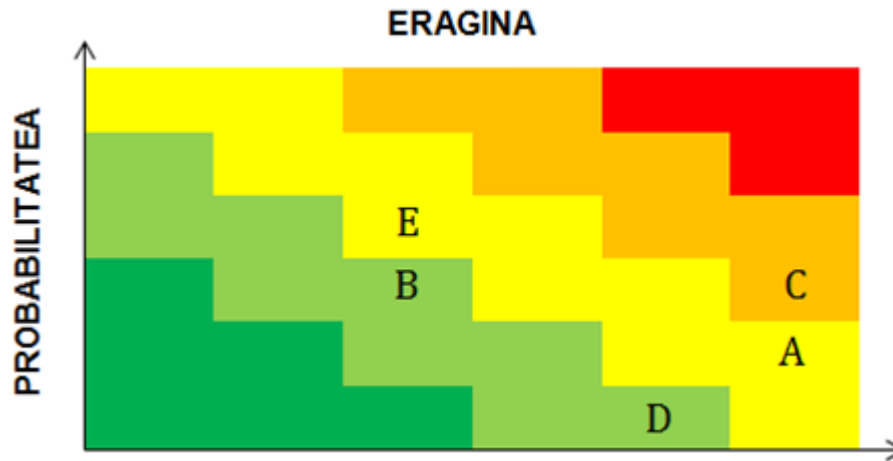
9.5. Prozesatze astuna (E)

Lehen aipatu den moduan PR erritmodun kasuetan 2372 erregistro eta PEA erritmodun kasuetan 1542 erregistro daude, totalen 3914. Honek, datuen prozesatzea moteldu dezake, edo prozesadore on bat eskatu dezake algoritmoak kasu guzti hauetan aplikatu behar direlako.

Hau ekiditeko, ahalik eta era efizienteenean programatzea ezinbestekoa izango da. Datu kantitatea ikusita, probabilitatea ertaina-altua kontsideratzen da, baina inpaktua ertaina-baxua.

9.6. Arrisku analisiaren laburpena

Hurrengo irudian, azalduko arrisku ezberdinen probabilitate-eragina erlazioa erakusten duen matrizea azaltzen da.



Irudia 23: Proiektuaren arriskuekin erlazionatutako probabilitate-eragin matrizea

10. ONDORIOAK

Proiektuan erabilitako datu-basea 279 paziente desberdinetako mozketak ditu barnean, 3914 mozketa guztira (2372 PR eta 1542 PEA). Mozketa hauen EKG seinaleek 250 Hz-ko laginketa maiztasuna eta 5s-ko iraupena dute.

QRS detektore klasikoen emaitzak bihotz-geldialdiko erritmoekin honakoak dira, SE/PPV(%) formatuan:

- PR kasuentzat: Hamilton-Tompkins(85/93), Pan-Tompkins(79/97.6), SQRS(92.4/99), GQRS(83.4/99.2) eta WQRS(92.1/99.7).
- PEA kasuentzat: Hamilton-Tompkins(84.1/59.1), Pan-Tompkins(71.3/88.3), SQRS(46.9/98.1), GQRS(49.1/97.5) eta WQRS(97.5/72.4).

PEA kasuetan, algoritmo gehienek, WQRS algoritmoak izan ezik, bi balioetako batean emaitza oso makalak eman dituzte. SQRS eta GQRS kasuetan anplitude txikiko seinaleetan QRSrik detektatu ez dituztelako izan da, algoritmoaren atalase-balioa seinalearen anplitudea baino handiagoa zelako. Beraz, bi parametroen arteko batez bestekoa kalkulatu, BAC, WQRS algoritmoak geldialdietako erritmoekin emaitza onenak ematen dituela ondorioztatu da.

ST-QRS detektorea garatu da honako parametroak optimizatuz: RR minimoa, QRSaren zabalera minimoa, behe-paseko iragazkiaren mozketa-maiztasunak (fc1 eta fc2), eta momentuan aztertzen den seinale zatiaren luzera mugatzen duen leihoaren zabalera, w-width. ST-QRS detektorearekin lortutako emaitzak %97.77/99.11 izan dira PR erritmoekin, eta %95.60/95.52% PEA erritmoekin.

Lortutako emaitzetatik ondoriozta daiteke ST-QRS detektorea fidagarria dela ospitale-kanpoko geldialdian ageri diren erritmo erregularretan QRS unean detektatzeko.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adabag, A. S., Luepker, R. V., Roger, V. L., & Gersh, B. J. « Sudden cardiac death: epidemiology and risk factors », *Nature Reviews Cardiology*, 2010, vol. 7, no 4, p. 216.
- [2] R. O. J. Alonso González E, «Thoracic impedance for cardiopulmonary resuscitation quality assessment and for circulation detection», *Communications Engineering Department, University of the Basque Country UPV/EHU*, 2014.
- [3] Berger, S. «Survival From Out-of-Hospital Cardiac Arrest: Are We Beginning to See Progress? »,2017.
- [4] Elola A, «ECG based pulse detection during cardiac arrest using Random Forest classifiers», *Communications Engineering Department, University of the Basque Country UPV/EHU*, 2018.
- [5] Heart& Stroke Foundation, «HIGHLIGHTS of the 2015 American Heart Association Guidelines Update for CPR and ECC», *American Heart Association*, 2015.
- [6] Olson, K. F., Gilman, B. L., Anderson, K. H., & Kroll, K. J. «Automated external defibrillator operator interface», *U.S. Patent No 5,792,190*, 11 Ago. 1998
- [7] Álvarez, R. A., Penín, A. J. M., & Sobrino, X. A. V. «A comparison of three QRS detection algorithms over a public database», *Procedia Technology*, 2013, vol. 9, p. 1159-1165.
- [8] Ferretti, J., Di Pietro, L. and De Maria, C. (2017). «Open-source automated external defibrillator. », *HardwareX*, 2017, pp.61-70.
- [9] Risdal M, Aase SO, Kramer-Johansen J, and Eftestøl T, «Automatic identification of return of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2008.
- [10] Jiapu Pan and Willis J. Tompkins, « A Real-Time QRS Detection Algorithm», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1985.
- [11] Patrick S. Hamilton and Willis J. Tompkins, «Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1986.

- [12] J. C. T. B. Moraes; M. M. Freitas; F. N. Vilani; E. V. Costa, «A QRS Complex Detection Algorithm using Electrocardiogram Leads», *Computers in Cardiology(CinC)*, 2002.
- [13] Jeon, T., Yu, J., Pedrycz, W., Jeon, M. and Lee, B. «Robust detection of heartbeats using association models from blood pressure and EEG signals », *BioMedical Engineering OnLine*, 2016.
- [14] W. Zong, G.B. Moody, D. Jiang, «A Robust Open-source Algorithm to Detect Onset and Duration of QRS Complexes », *Computers in Cardiology(CinC)*, 2003.
- [15] Goldberger, A. L., et al. «Physiobank, physiotoolkit, and physionet», *Circulation*, 2000, vol. 101, no 23, p. e215-e220.
- [16] Moody GB. gqrs man page. Available at: <http://www.physionet.org/physiotools/wag/gqrs-1.htm>
- [17] Physionet.org. *MATLAB File Help: ecgpuwave*. Available at: <https://www.physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/html/ecgpuwave.m>
- [18] Physionet.org. Available at: <https://physionet.org/physiotools/ecg-kit/common/eplimited/src/qrsdet2.c>
- [19] Physionet.org. *MATLAB File Help: sqrs*. Available at: <https://www.physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/html/sqrs.m>
- [20] Physionet.org. *MATLAB File Help: gqrs*. Available at: <https://www.physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/html/gqrs.m>
- [21] Physionet.org. *MATLAB File Help: wqrs*. Available at: <https://www.physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/html/wqrs.m>

ERANSKINAK

I. EMAITZAK

AURKIBIDEA

a.	EMAITZA OROKORRAK	59
b.	BIHOTZ MAIZTASUNAREN ERROREA	60
i.	PR erritmodun seinaleak erabilia	60
▪	PAN-TOMPKINS	61
▪	HAMILTON-TOMPKINS.....	61
▪	SQRS ALGORITMOA	62
▪	GQRS ALGORITMOA	62
▪	WQRS ALGORITMOA	63
▪	ST-QRS ALGORITMOA	63
ii.	PEA erritmodun seinaleak erabilia	64
▪	PAN-TOMPKINS	64
▪	HAMILTON-TOMPKINS.....	64
▪	SQRS ALGORITMOA	65
▪	GQRS ALGORITMOA	65
▪	WQRS ALGORITMOA	66
▪	ST-QRS ALGORITMOA	66
c.	ERROREAREN BANAKETA ESTADISTIKOA	67
i.	PR erritmodun seinaleak erabilia	67
▪	PAN-TOMPKINS	67
▪	HAMILTON-TOMPKINS.....	68
▪	SQRS ALGORITMOA	68
▪	GQRS ALGORITMOA	69
▪	WQRS ALGORITMOA	69
▪	ST-QRS ALGORITMOA	70
ii.	PEA erritmodun seinaleak erabilia	70
▪	PAN-TOMPKINS	70
▪	HAMILTON-TOMPKINS.....	71
▪	SQRS ALGORITMOA	71
▪	GQRS ALGORITMOA	72

	▪ WQRS ALGORITMOA	72
	▪ ST-QRS ALGORITMOA	73
d.	ERROREAREN BLAND-ALTMAN IRUDIAK.....	73
i.	PR erritmodun seinaleak erabilita.....	73
	▪ PAN-TOMPKINS	74
	▪ HAMILTON-TOMPKINS.....	74
	▪ SQRS ALGORITMOA.....	75
	▪ GQRS ALGORITMOA	75
	▪ WQRS ALGORITMOA	76
	▪ ST-QRS ALGORITMOA	76
ii.	PEA erritmodun seinaleak erabilita	77
	▪ PAN-TOMPKINS	77
	▪ HAMILTON-TOMPKINS.....	77
	▪ SQRS ALGORITMOA.....	78
	▪ GQRS ALGORITMOA	78
	▪ WQRS ALGORITMOA	79
	▪ ST-QRS ALGORITMOA	79

Eranskin honetan emaitzak sakonago azaltzen dira. Hasteko, algoritmo bakoitzarekin lortutako emaitzak tauletan irudikatuko dira. Lortutako SE eta PPV balio horietatik hurrengo atalean datozen bihotz-maiztasunaren erroreak interpretatzen direlako.

Ondoren, erregistro bakoitzak duen errore absolutu eta erlatiboa errepresentatzen duten grafikoak irudikatu dira. Bukatzeko, erroreak banaketa estatistikoa kalkulatu eta Bland-Altman diagrama irudikatu da.

Atal guztietan honako prozedura jarraituko da algoritmo eta erritmo bakoitzaren grafikoak irudikatzean: hasteko, PR erritmodun seinaleak erabiliz, QRS detektore desberdinekin lortutako emaitzak irudikatuko dira eta honen ondoren, PEA erritmodun seinaleekin lortutako emaitza guztiak.

a. EMAITZA OROKORRAK

Hurrengo tauletan PR eta PEA erritmodun seinaleak erabiliz detektore bakoitzak lortutako efizientzia neurtzen duten aldagaien balioak eta bihotz maiztasunen zehaztapenak zehazten dira:

PR			
Metodoak	SE (%)	PPV (%)	BAC (%)
Hamilton-Tompkins	85.01	93.00	89.00
Pan-Tompkins	79.03	97.59	88.31
SQRS	93.44	99.00	96.22
GQRS	83.44	99.17	91.30
WQRS	99.66	92.12	95.89
ST-QRS	97.79	99.14	98.47

Taulara 12: Algoritmoek PR erritmoekin lortutako efizientzia balioak

PR				
Metodoak	Median	Pr25	Pr75	error>10%
Hamilton-Tompkins (2371)	0.53	0	2.35	11.6
Pan-Tompkins (2367)	0.35	0	1.86	8.96
SQRS (2341)	0.22	0	0.73	4.19
GQRS (2356)	0.40	0	1.65	6.45
WQRS (2369)	0.41	0	0.97	11.23
ST-QRS (2372)	0	0	0.42	2.40

Taulara 13: PR erritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin. Parentesi artean algoritmoak bihotz-maiztasuna kalkulatzeko erabilitako mozketak kopurua, erroreak kalkulatzeko kontutan hartuz.

PEA			
Metodoak	SE (%)	PPV (%)	BAC (%)
Hamilton-Tompkins	84.10	59.12	71.61
Pan-Tompkins	71.32	88.29	79.81
SQRS	46.90	98.14	72.52
GQRS	49.14	97.53	73.34
WQRS	97.53	72.39	84.96
ST-QRS	94.88	96.77	95.83

Taula 14: Algoritmoek PEA eritmoekin lortutako efizientzia balioak

PEA				
Metodoak	Median	Pr25	Pr75	error>10%
Hamilton-Tompkins (1538)	11.92	0.61	187.50	56.50
Pan-Tompkins (1307)	1.21	0.19	27.64	36.65
SQRS (830)	0.06	0	0.88	9.64
GQRS (780)	0.84	0.22	14.29	27.69
WQRS (1536)	1.73	0.24	35.30	41.93
ST-QRS (1531)	0	0	0.42	2.40

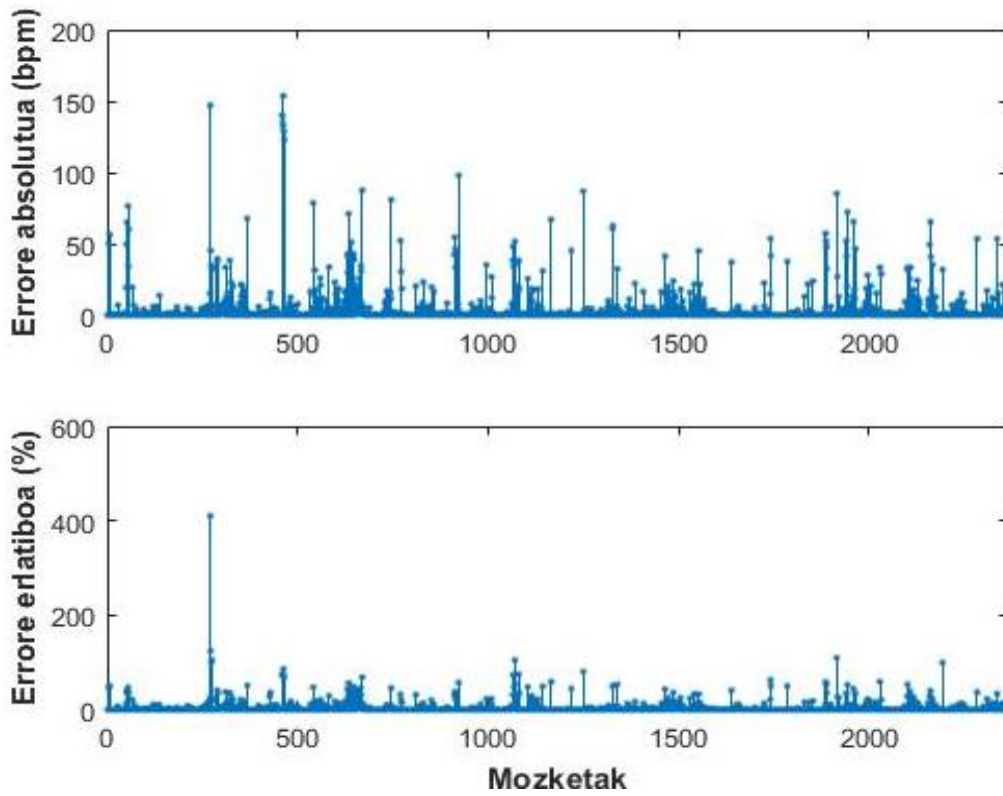
Taula 15: PEA eritmodun seinaleen bihotz-maiztasunen inguruko zehaztapenak algoritmo bakoitzarekin. Parentesi artean algoritmoak bihotz-maiztasuna kalkulatzeko erabilitako mozketa kopurua, errorea kalkulatzeko kontutan hartuz.

b. BIHOTZ MAIZTASUNAREN ERROREA

Hurrengo grafikoetan, algoritmo bakoitzak mozketa bakoitzean PR eta PEA kasuetan izandako errorea absolutu eta erlatiboa irudikatu da. Errore hau, eskuz definitutako markak eta algoritmoak detektatuko markak erabiliz kalkulaturako maiztasunen bidez ebaluatu da.

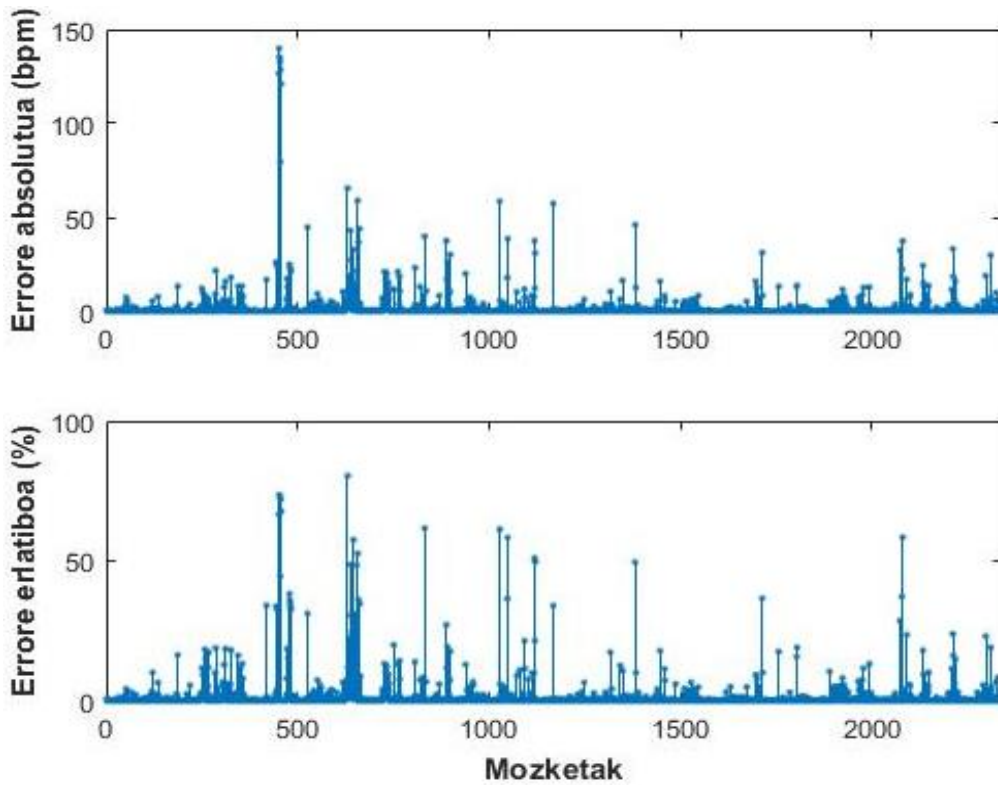
i. PR eritmodun seinaleak erabilia

- PAN-TOMPKINS



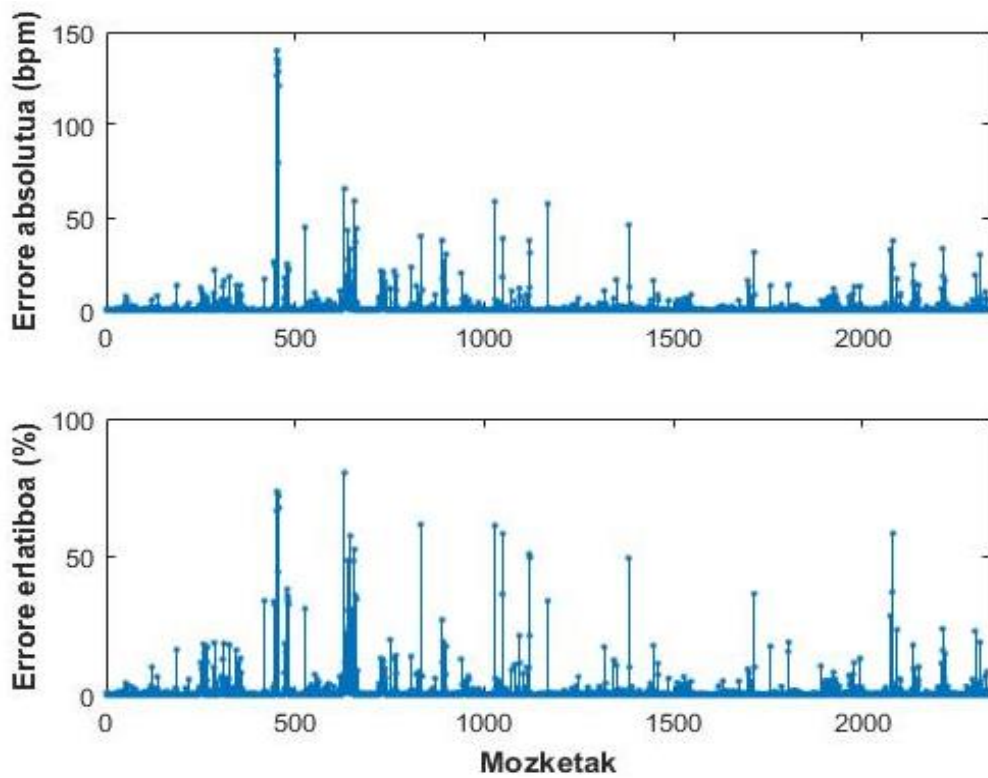
Irudia 24: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua PT algoritmoa erabiliz

- HAMILTON-TOMPKINS



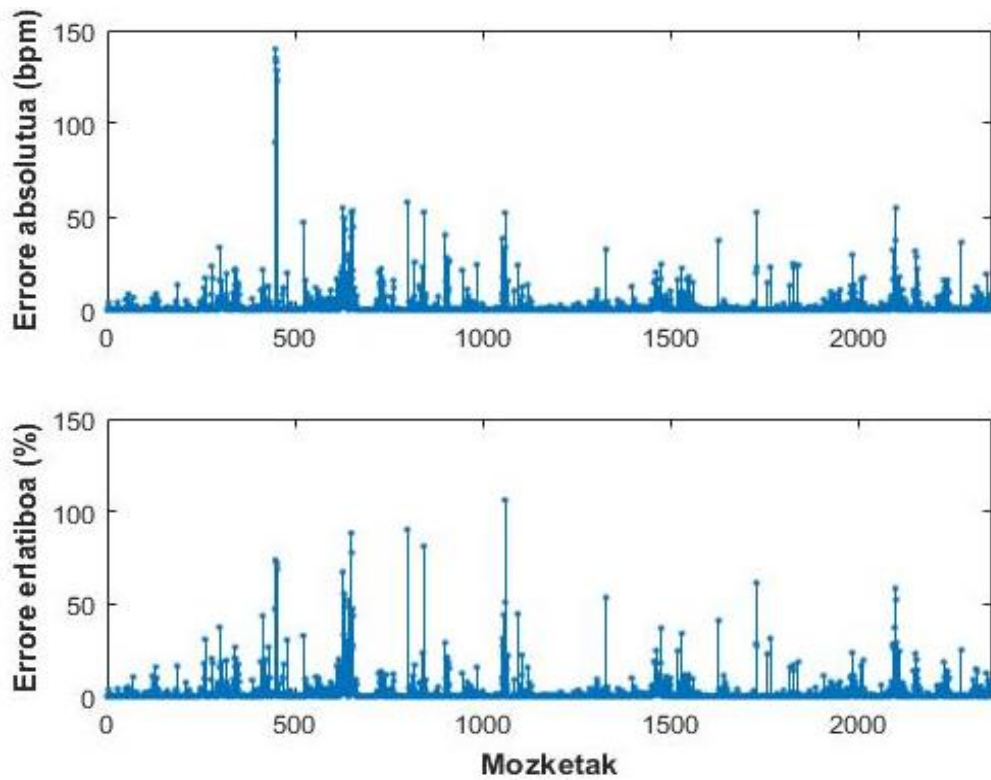
Irudia 25: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua HT algoritmoa erabiliz

- SQRS ALGORITMOA



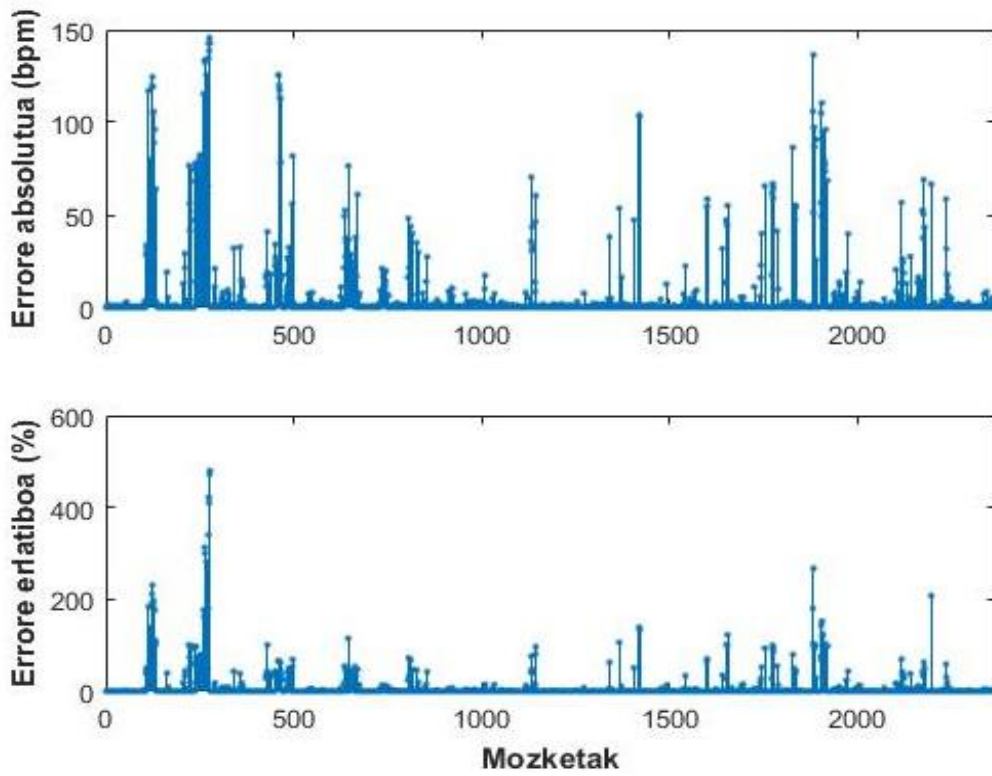
Irudia 26: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua SQRS algoritmoa erabiliz

- GQRS ALGORITMOA



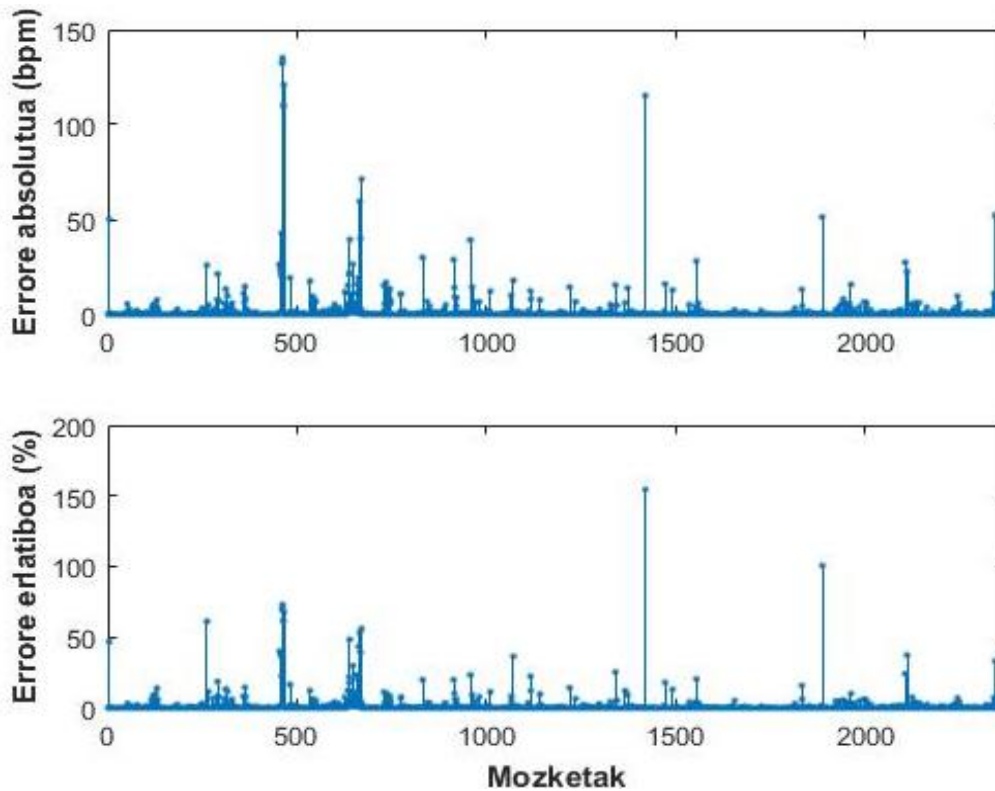
Irudia 27: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua GQRS algoritmoa erabiliz

- WQRS ALGORITMOA



Irudia 28: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua WQRS algoritmoa erabiliz

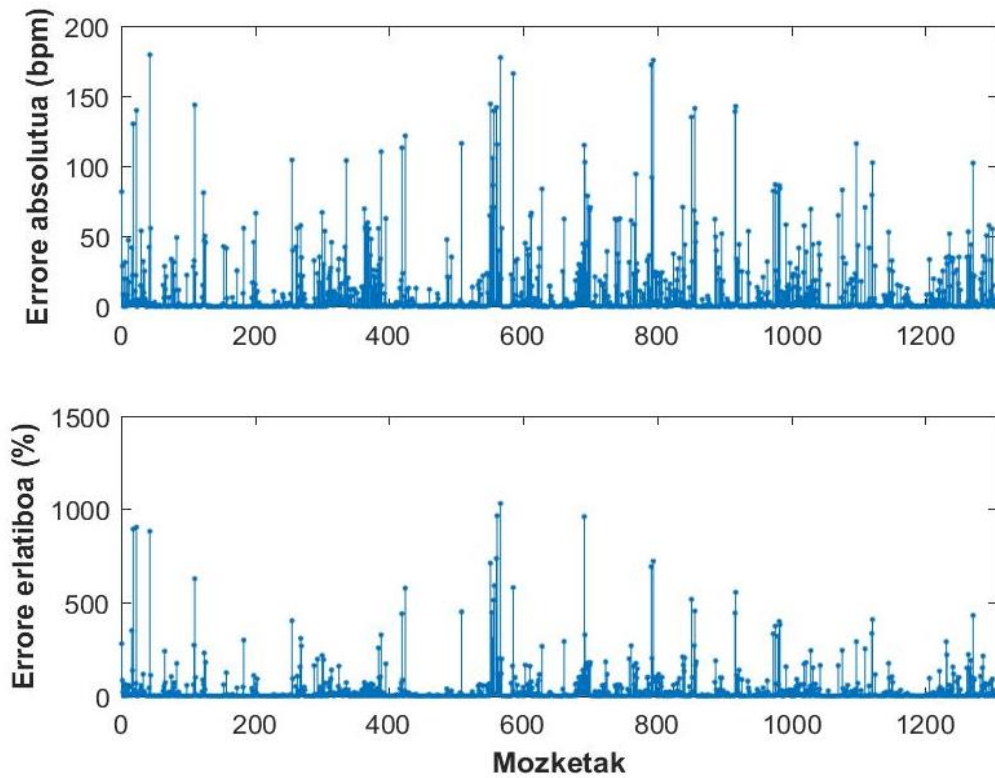
- ST-QRS ALGORITMOA



Irudia 29: PR mozketen errore erlatibo eta absolutua ST-QRS algoritmoa erabiliz

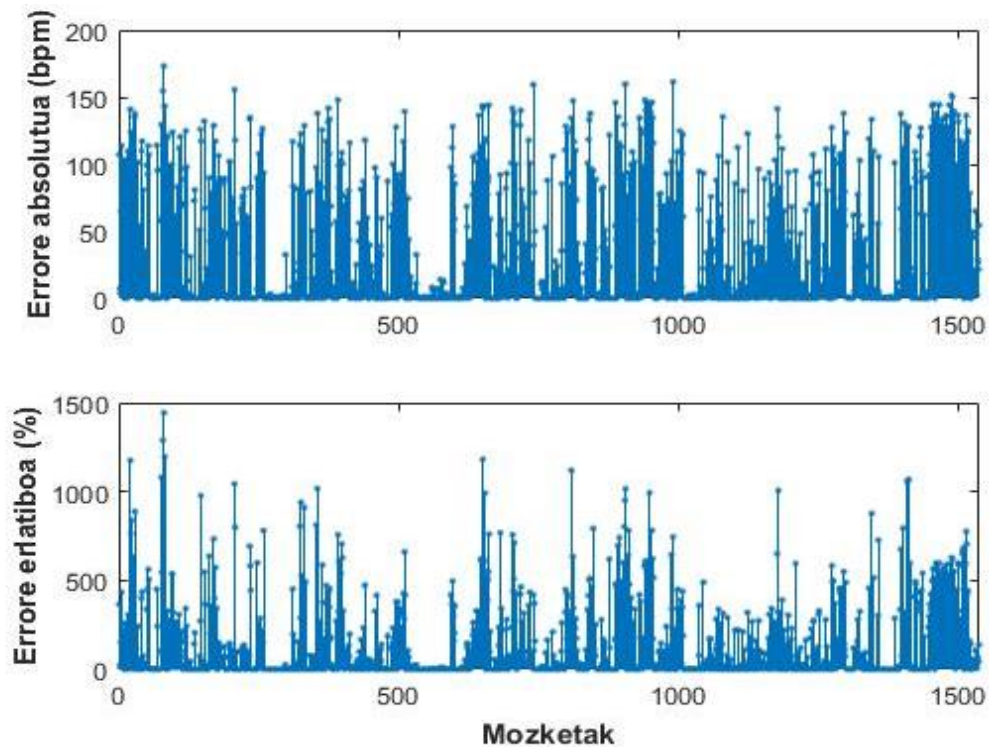
ii. PEA erritmodun seinaleak erabilia

■ PAN-TOMPKINS



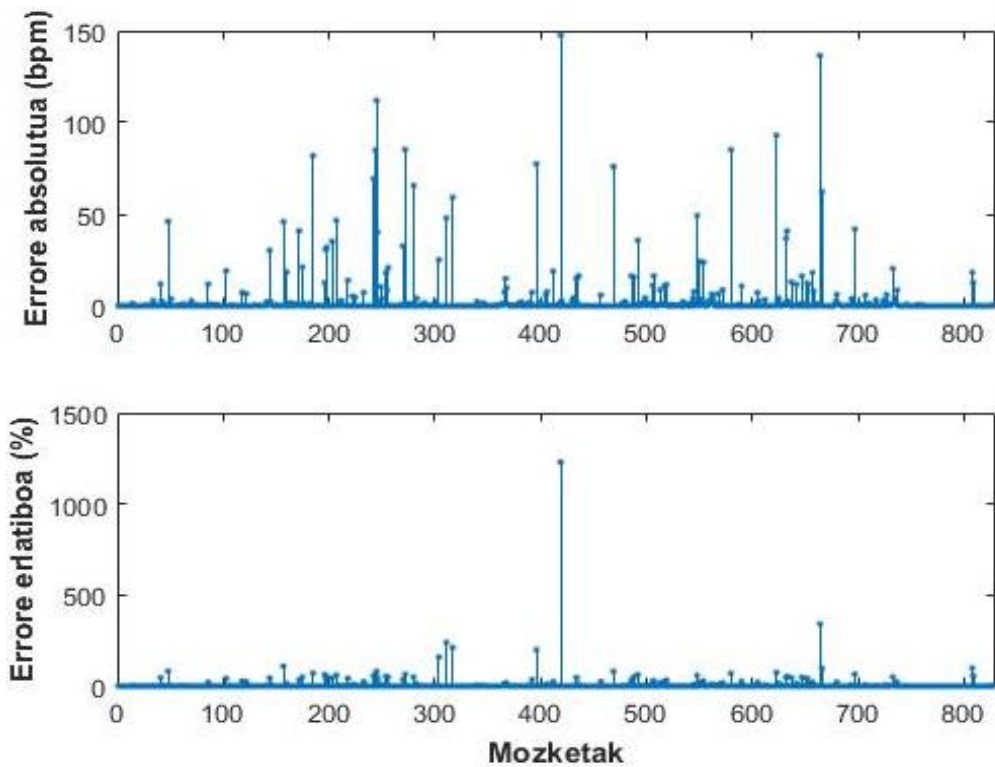
Irudia 30: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua PT algoritmoa erabiliz

■ HAMILTON-TOMPKINS



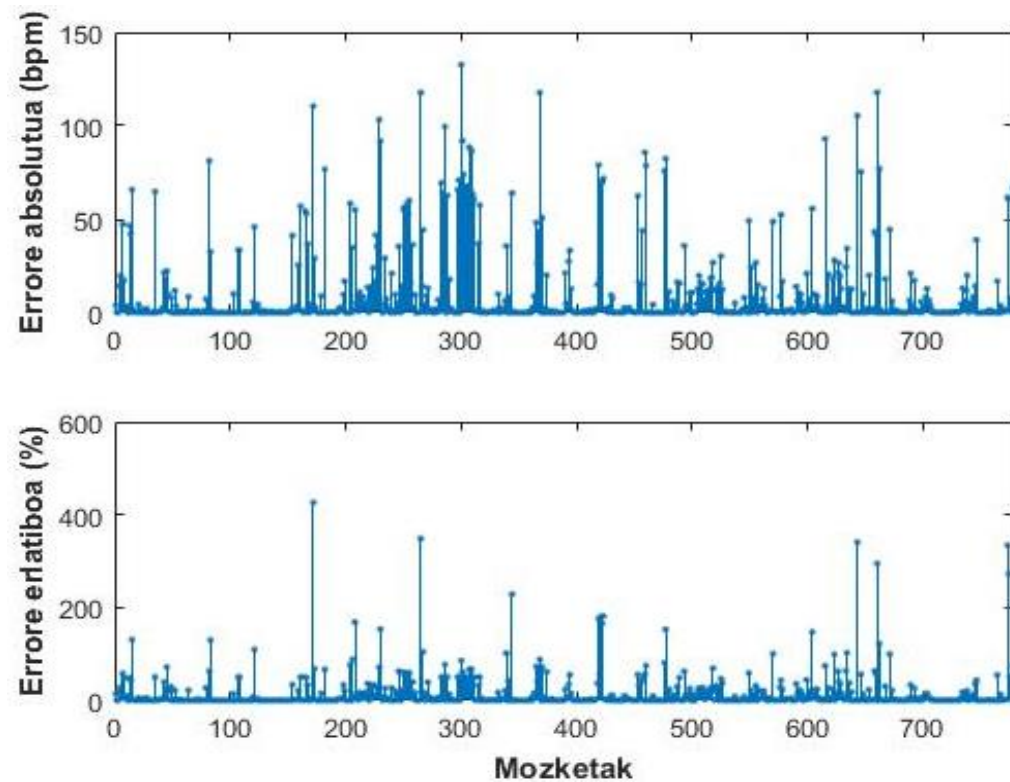
Irudia 31: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua HT algoritmoa erabiliz

- SQRS ALGORITMOA



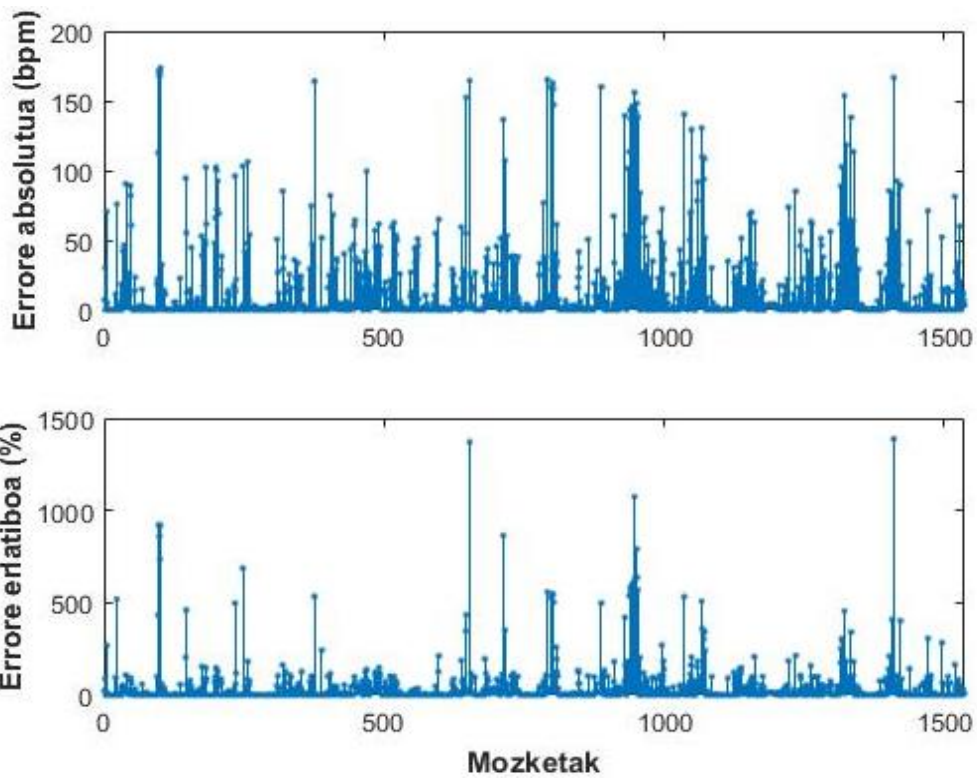
Irudia 32: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua SQRS algoritmoa erabiliz

- GQRS ALGORITMOA



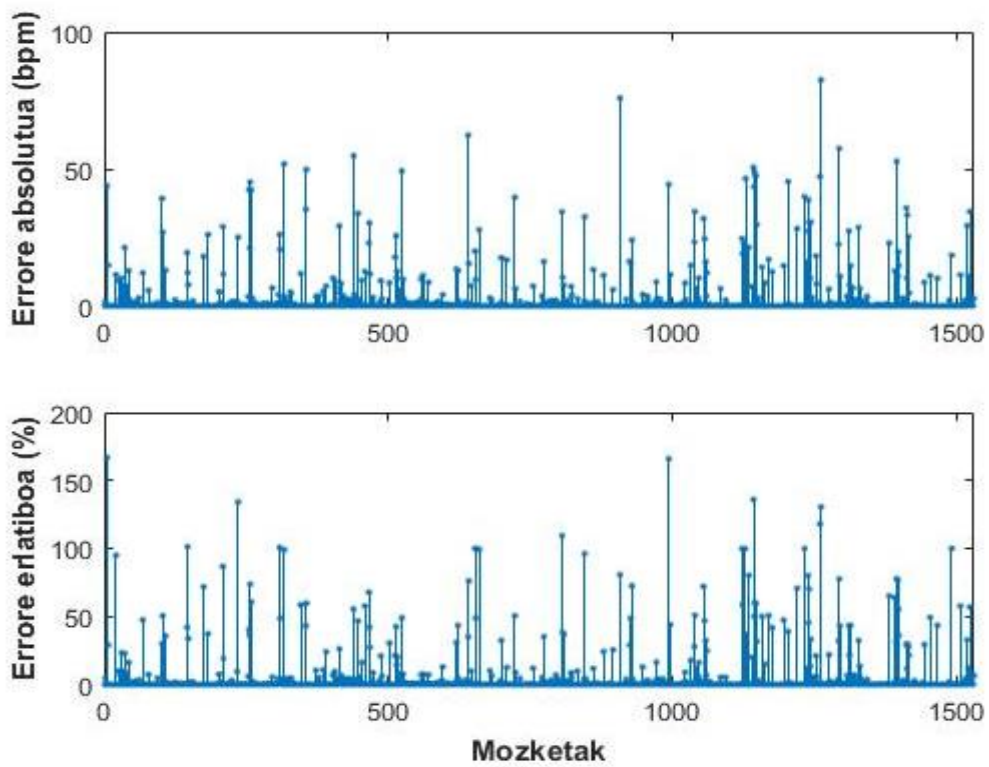
Irudia 33: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua GQRS algoritmoa erabiliz

- WQRS ALGORITMOA



Irudia 34: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua WQRS algoritmoa erabiliz

- ST-QRS ALGORITMOA



Irudia 35: PEA mozketen errore erlatibo eta absolutua ST-QRS algoritmoa erabiliz

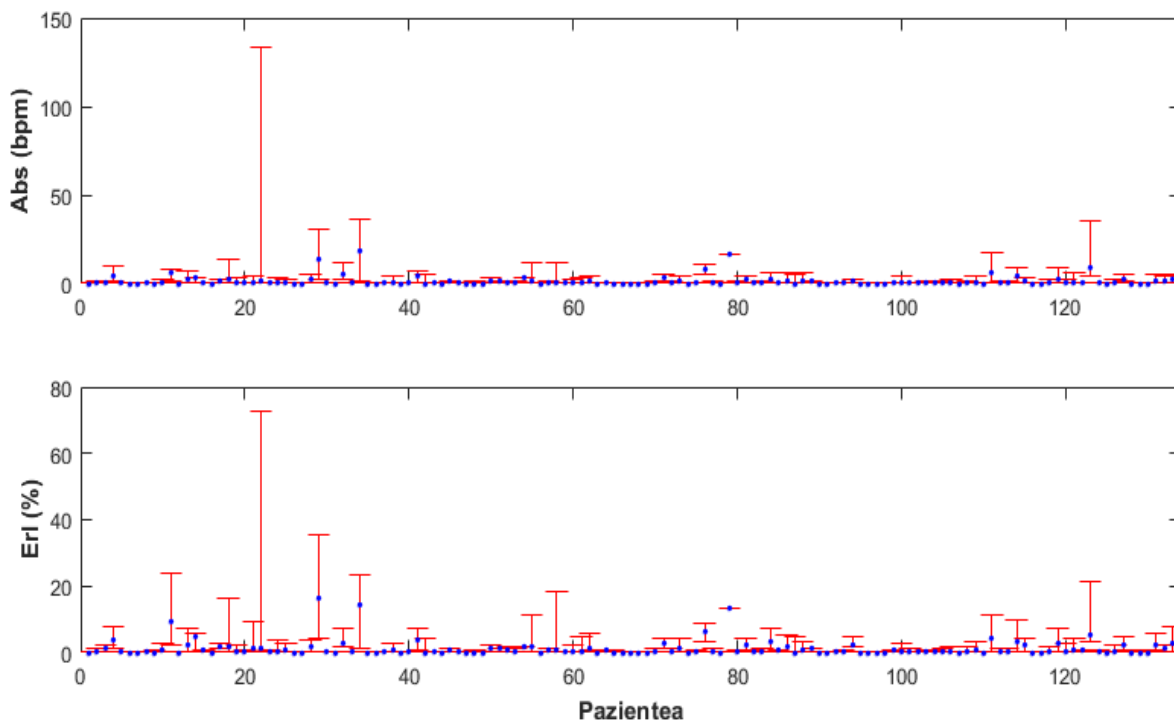
c. ERROREAREN BANAKETA ESTADISTIKOA

Algoritmoaren emaitzak aztertzerako orduan ezinbestekoa da erroreen mediana eta iqr-a kalkulatzeko.

Interesgarria da algoritmoaren emaitzak pazientekaz aztertzea, paziente bakoitzean izan duen zehaztasuna ikusteko. Horretarako episodio bakoitzean izan den erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentilaren balioak kalkulatu dira. Mediana puntu urdina izango da, barra gorriaren goiko muturra 75.pertzentilaren emaitza eta beheko muturra 25.pertzentilarena.

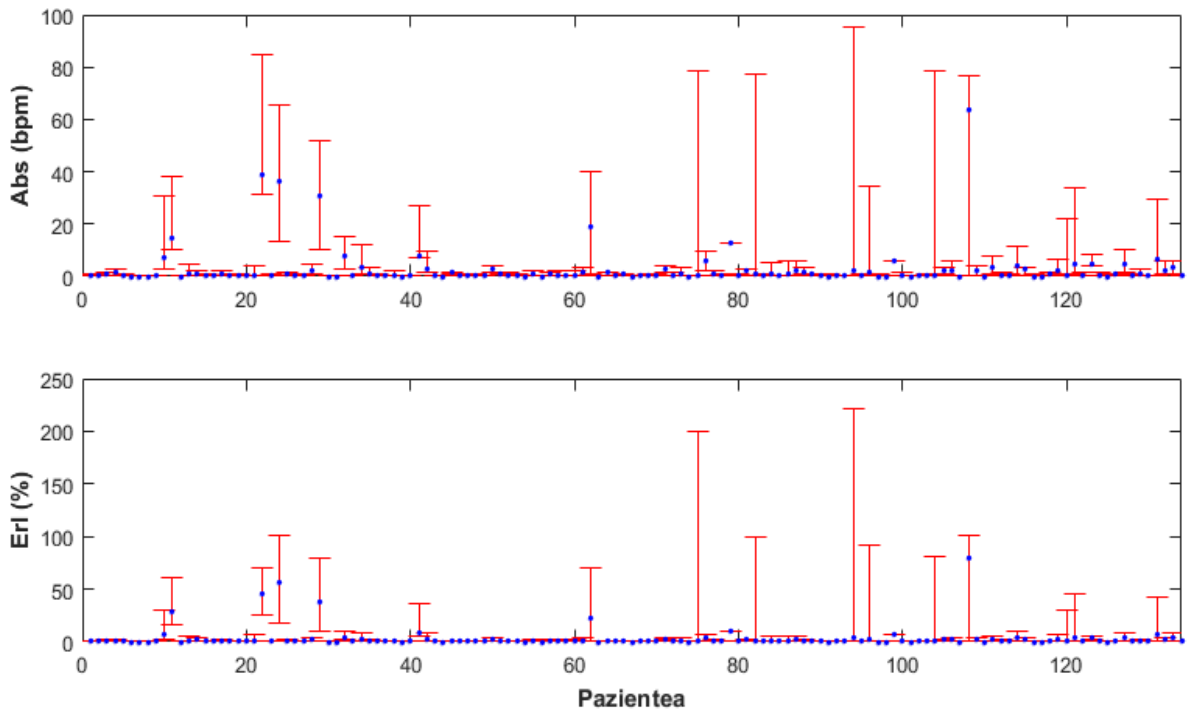
i. PR erritmodun seinaleak erabilia

■ PAN-TOMPKINS



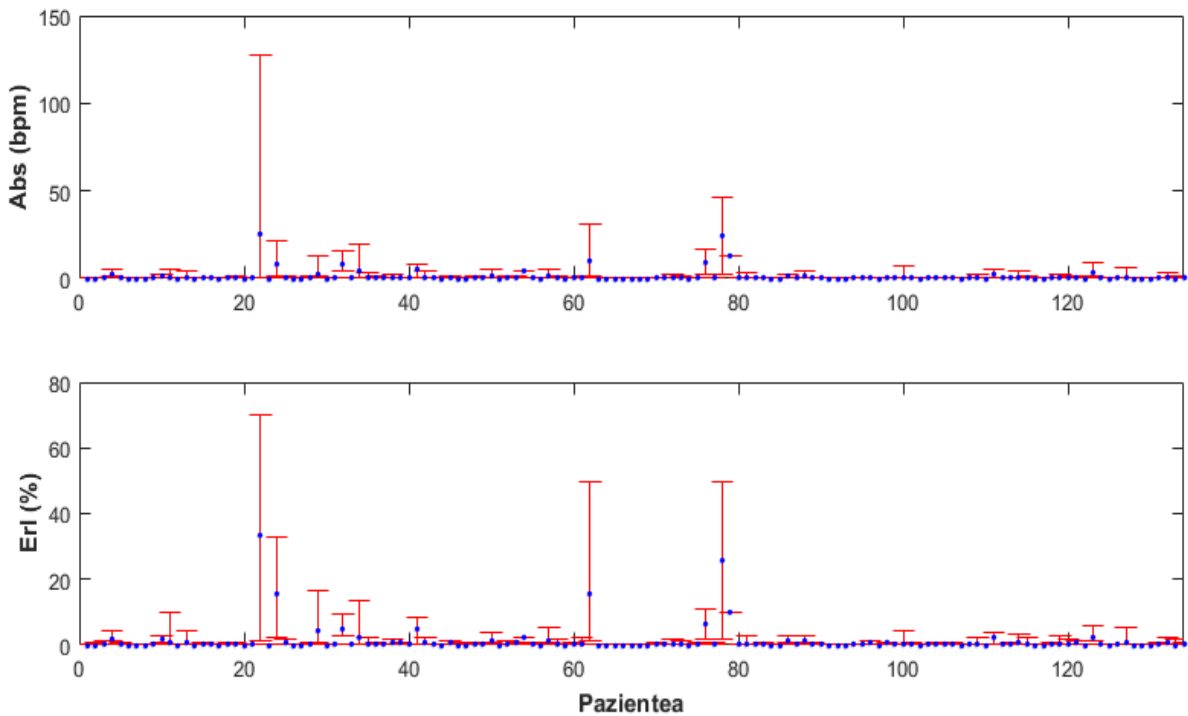
Irudia 36: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila PT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

- HAMILTON-TOMPKINS



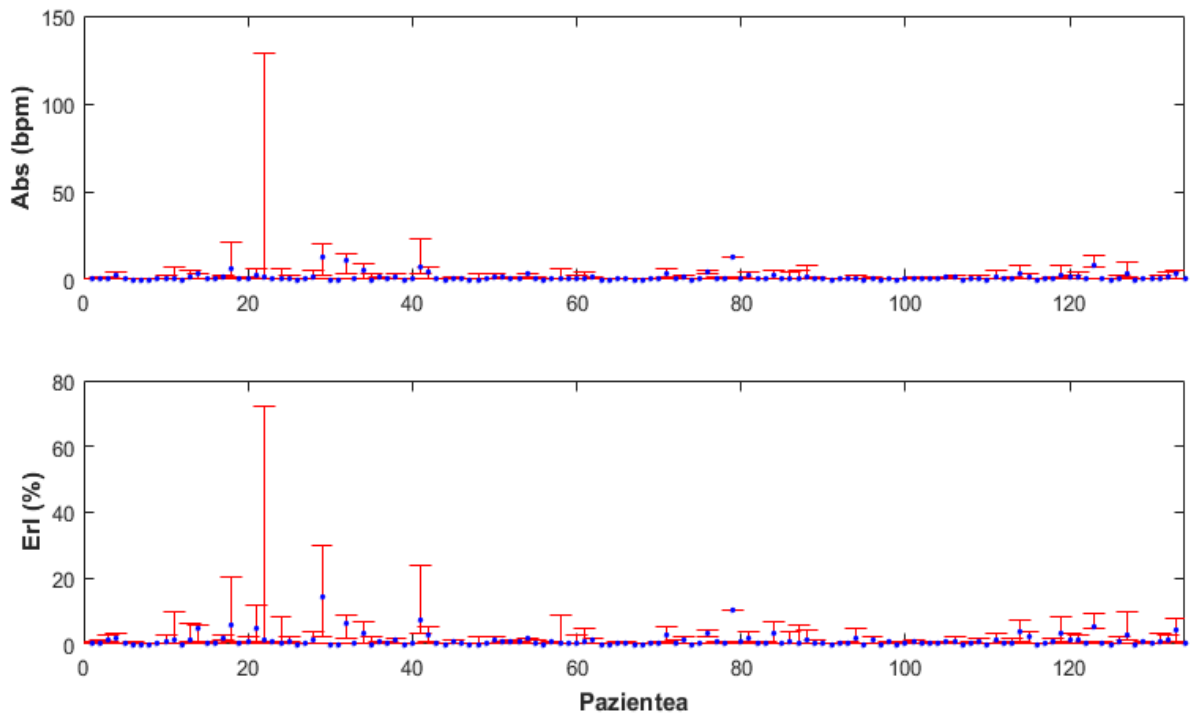
Irudia 37: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila HT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

- SQRS ALGORITMOA



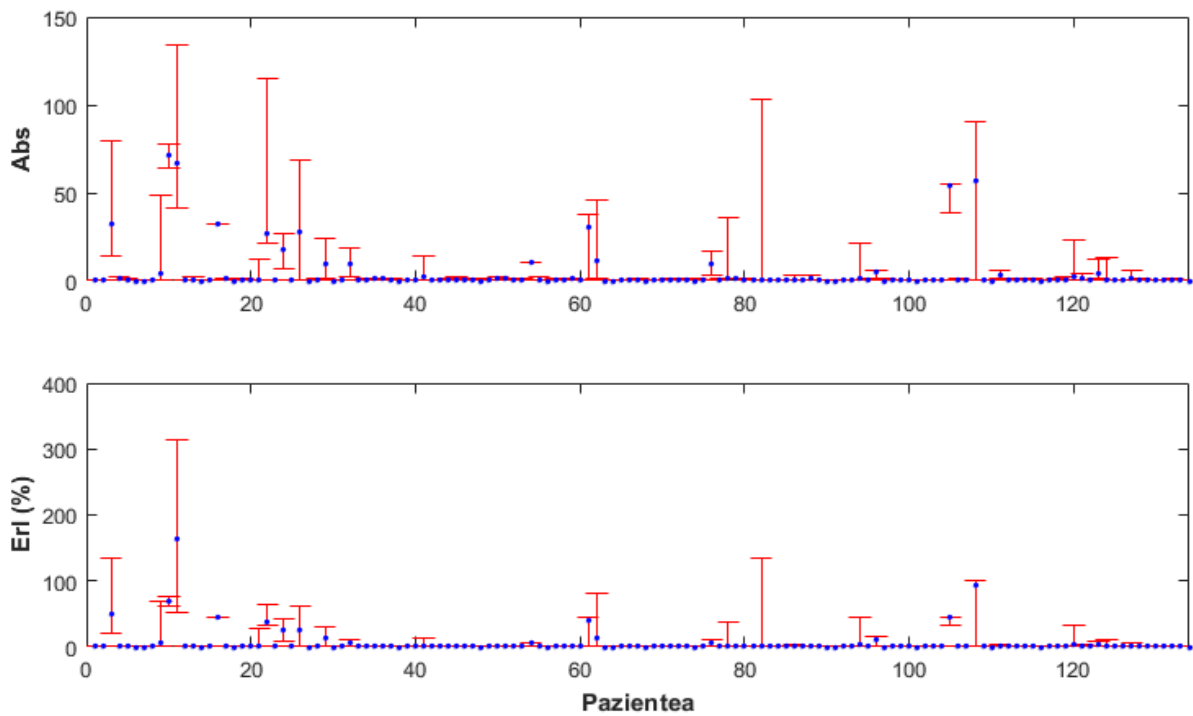
Irudia 38: PR mozketen erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila SQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

■ GQRS ALGORITMOA



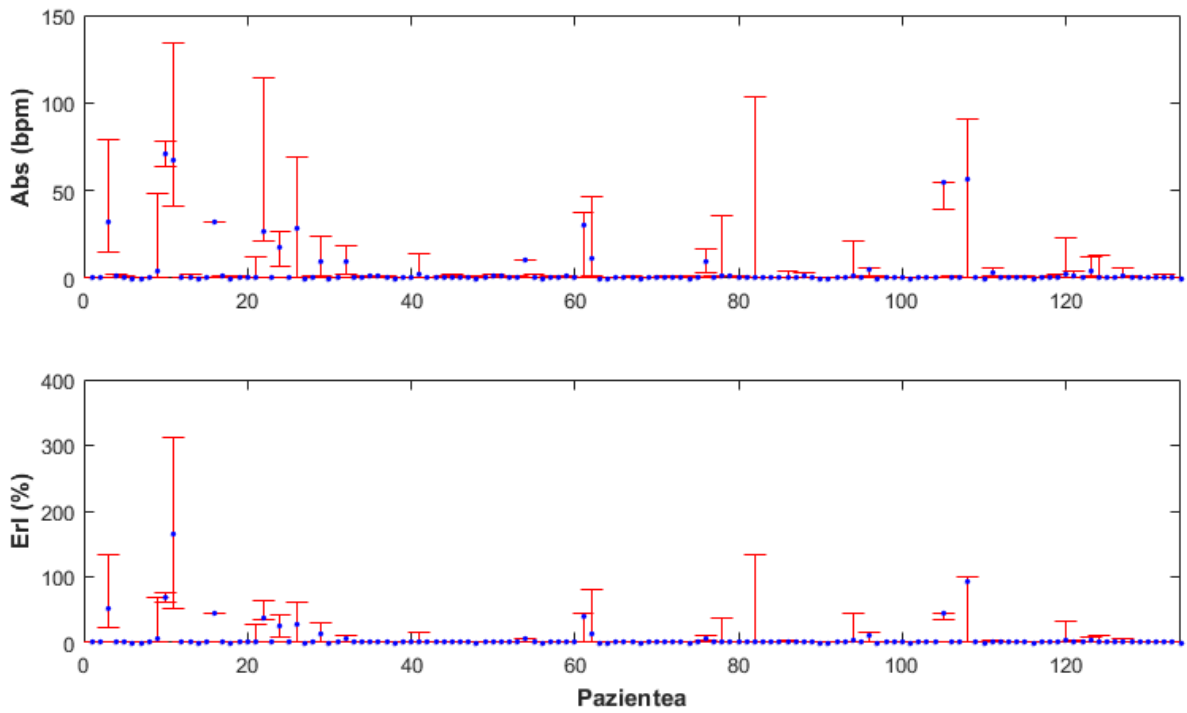
Irudia 39: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila GQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

■ WQRS ALGORITMOA



Irudia 40: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila WQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

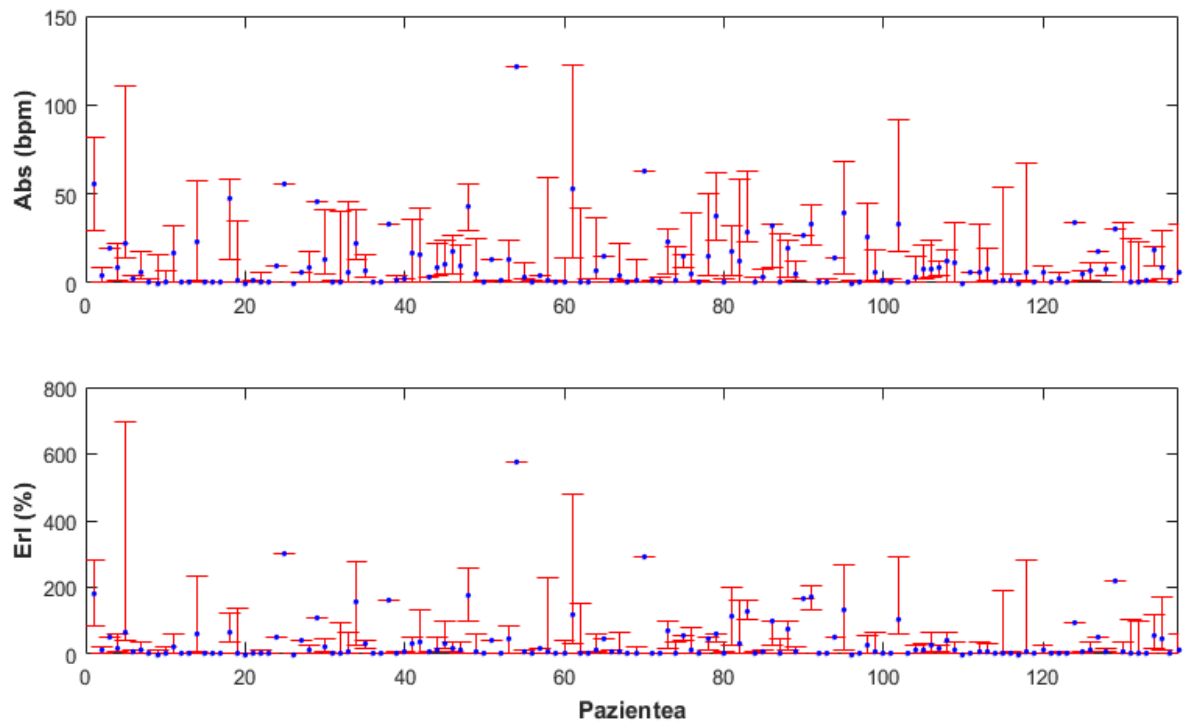
- ST-QRS ALGORITMOA



Irudia 41: PR mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila ST-QRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

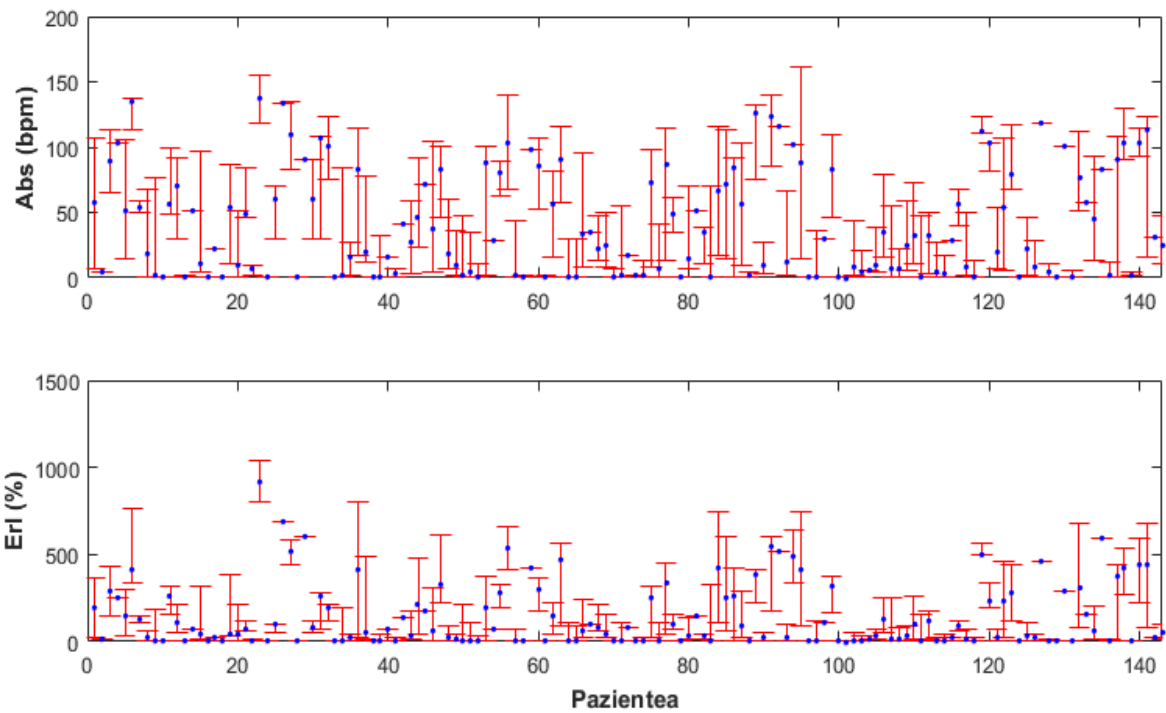
ii. PEA erritmodun seinaleak erabilia

- PAN-TOMPKINS



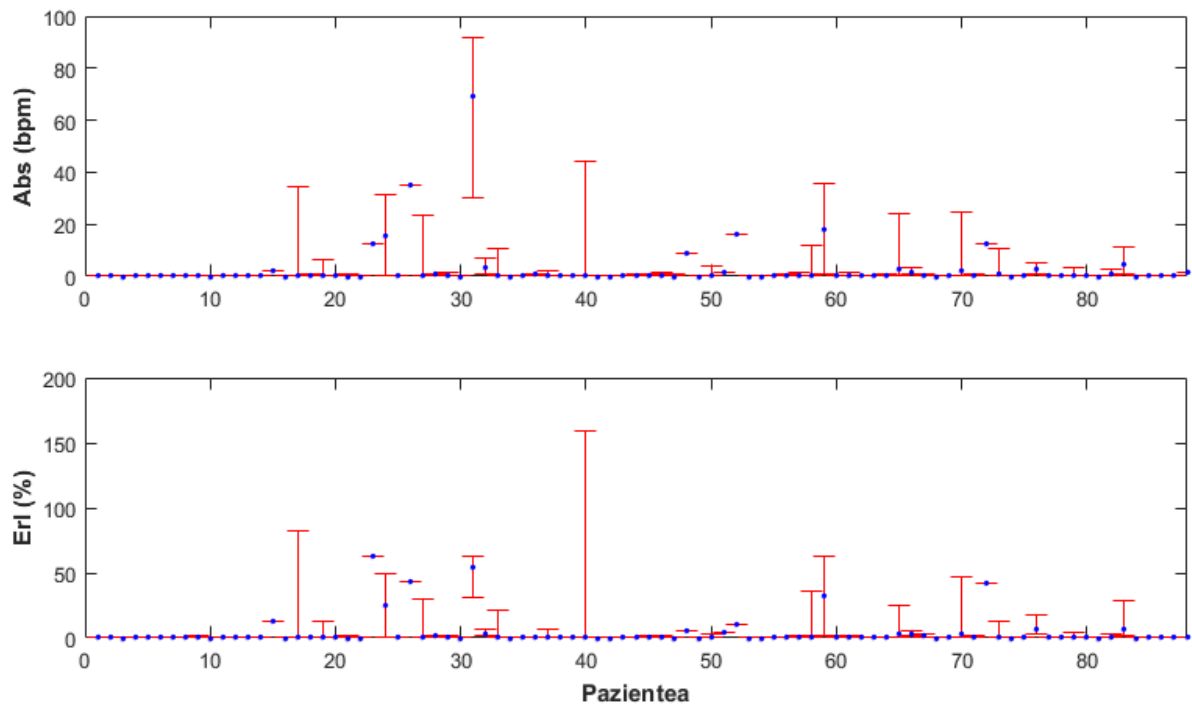
Irudia 42: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila PT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

- HAMILTON-TOMPKINS



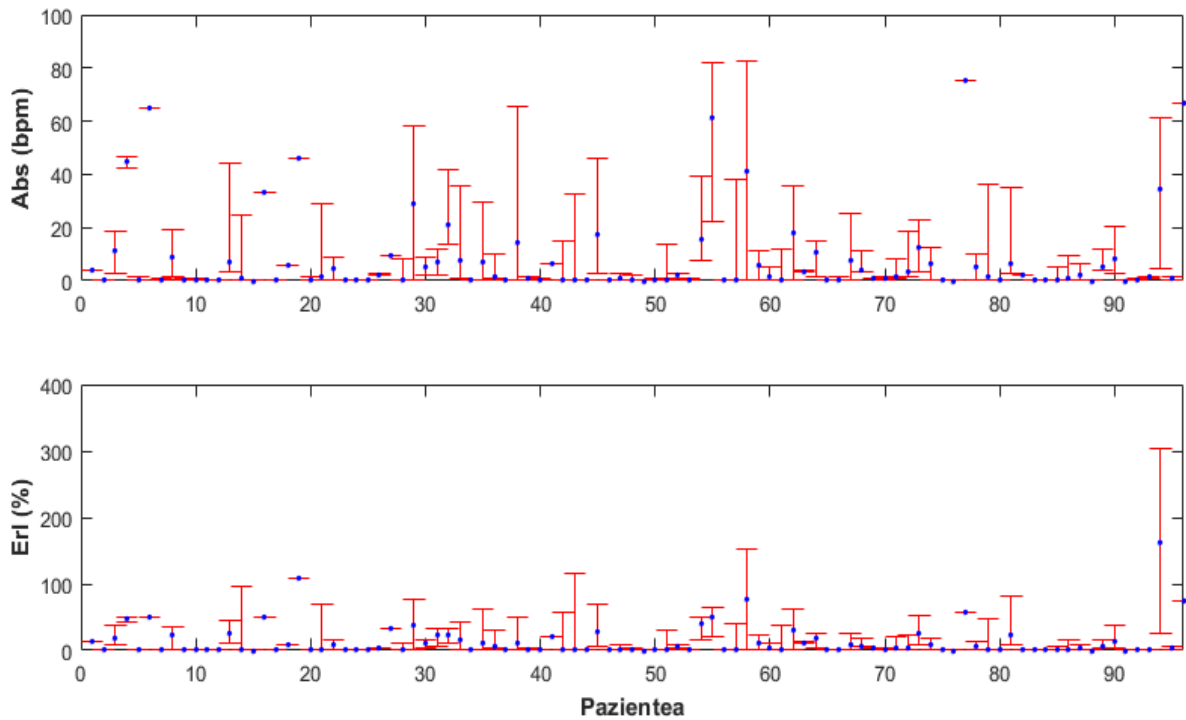
Irudia 43: PEA mozketen errorearen mediana, 25. eta 75.pertzentila HT algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

- SQRS ALGORITMOA



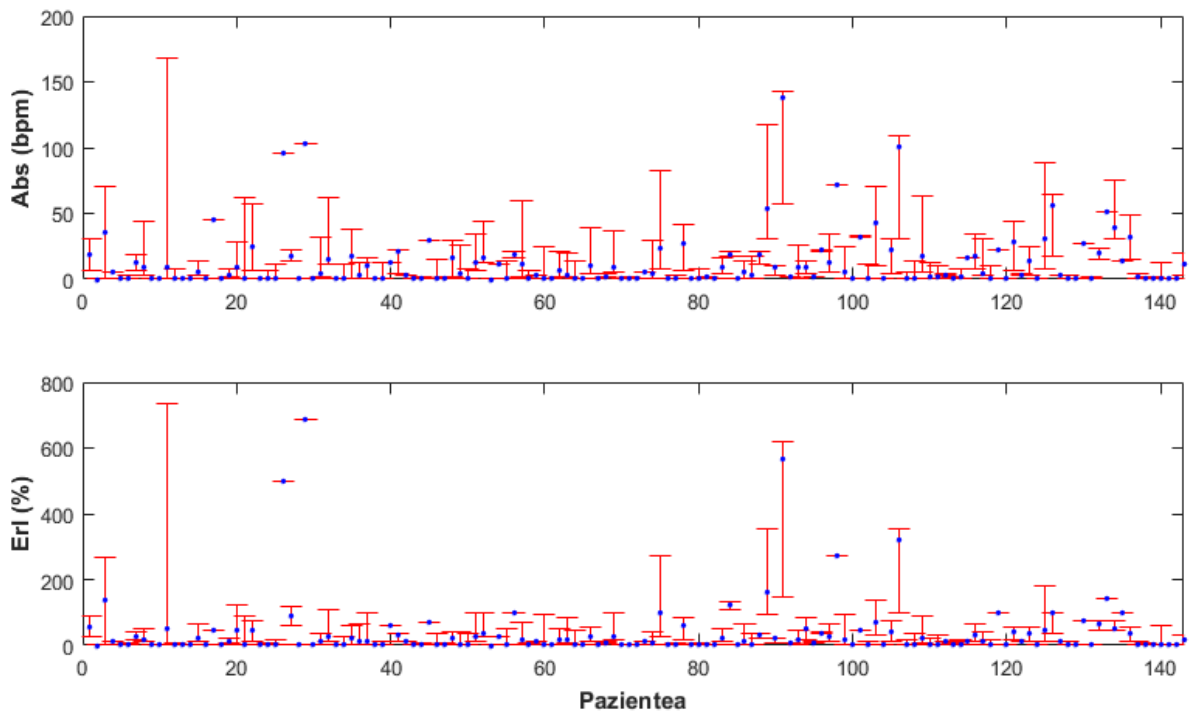
Irudia 44: PEA mozketen errorearen mediana, 25. eta 75.pertzentila SQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

■ QQRS ALGORITMOA



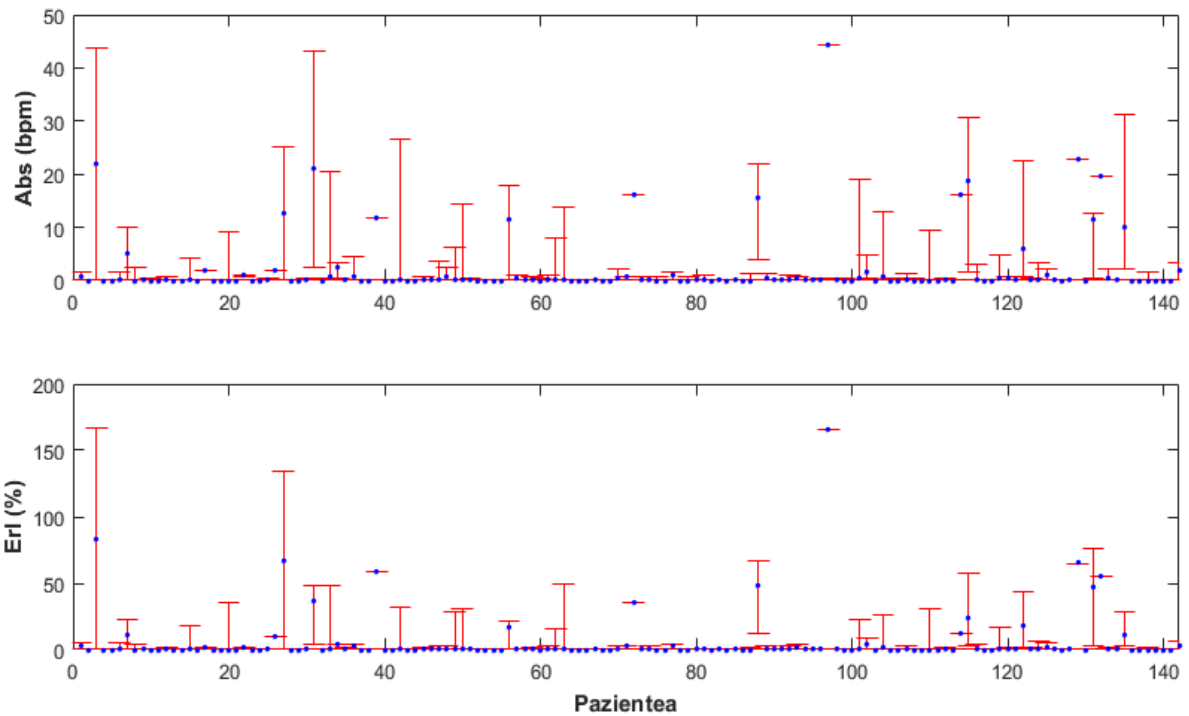
Irudia 45: PEA mozketen erroreen mediana, 25. eta 75.pertzentila QQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

■ WQRS ALGORITMOA



Irudia 46: PEA mozketen erroreen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila WQRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

■ ST-QRS ALGORITMOA



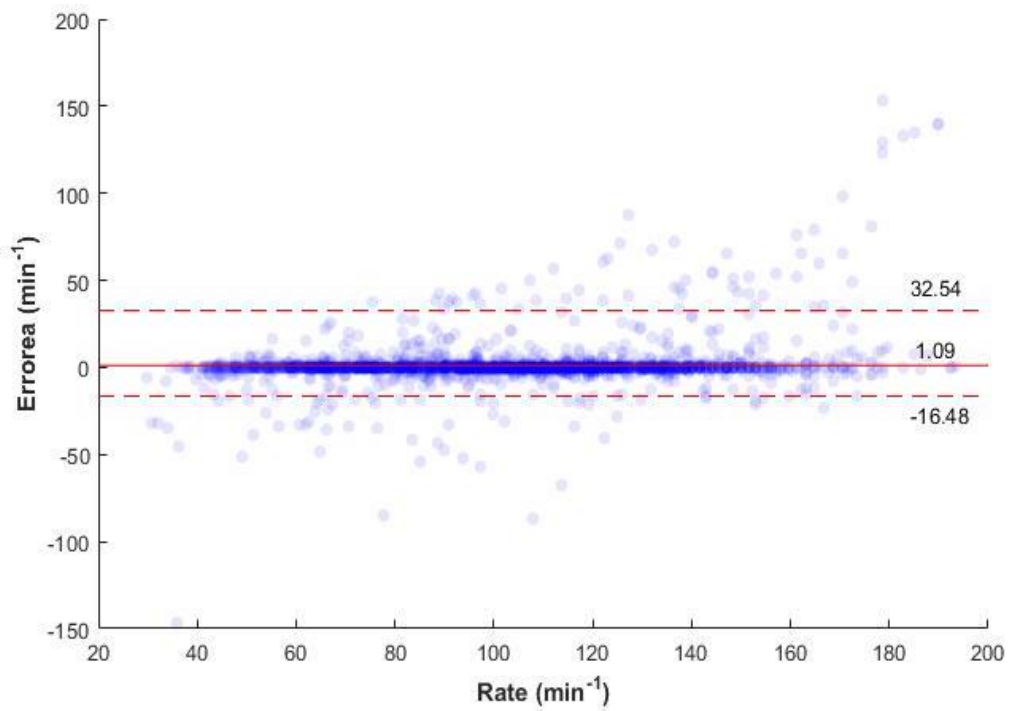
Irudia 47: PEA mozketen errearen mediana, 25.pertzentila eta 75.pertzentila ST-QRS algoritmoa erabiliz errore barra diagrama batean irudikatuta

d. ERROREAREN BLAND-ALTMAN IRUDIAK

Jarraian Bland-Altman diagramen bidez errorea errepresentatzen da hamabi kasutarako, hau da, algoritmo bakoitzarekin bi diagrama irudikatuko dira: bat PEA erritmoekin eta beste bat PR erritmoekin. Bertan, errorea eta maiztasunaren arteko erlazioa azter daiteke. Diagraman puntu urdin bidez leiho bakoitzean izandako erroreak irudikatu dira. Horretaz gain hiru lerro horizontal daude, erdikoak errore guztien mediana adierazten du, beste bi lerroek errearen %95-a barne hartzen dute. Ikus daiteke maiztasuna baxuagoa edo altuagoa izateak ez duela errearen gain eraginik, beste kasu batzuetan ez bezala, maiztasun altuek ez dute errore altuagoa ekartzen.

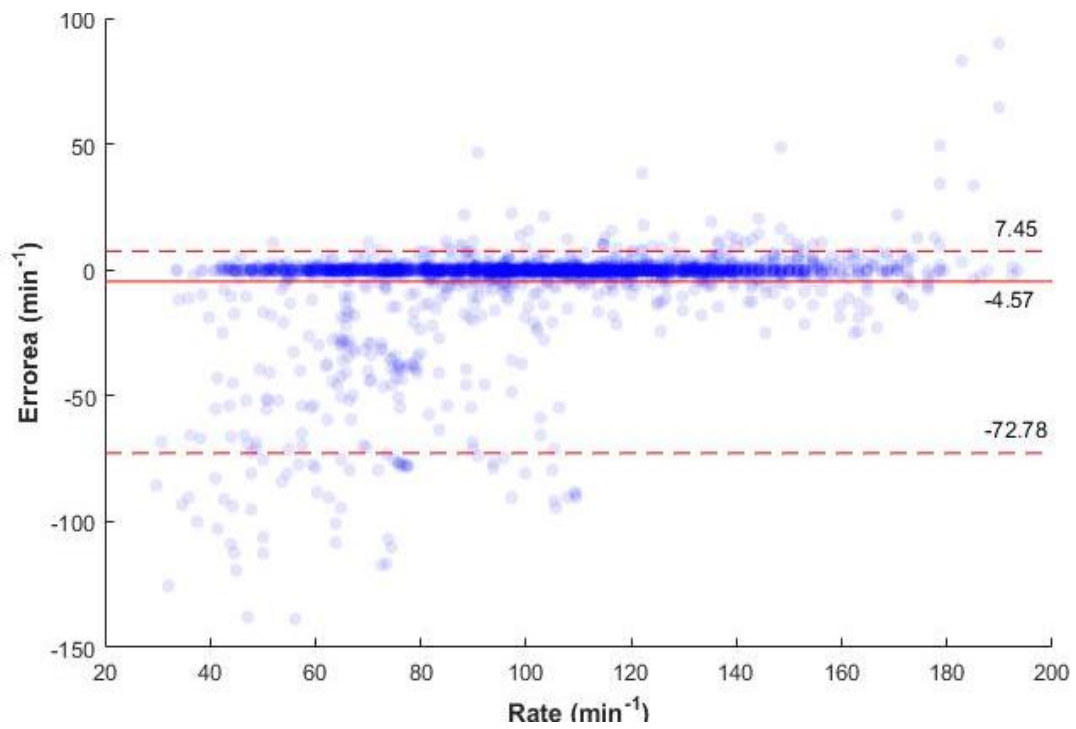
i. PR erritmodun seinaleak erabilia

■ PAN-TOMPKINS



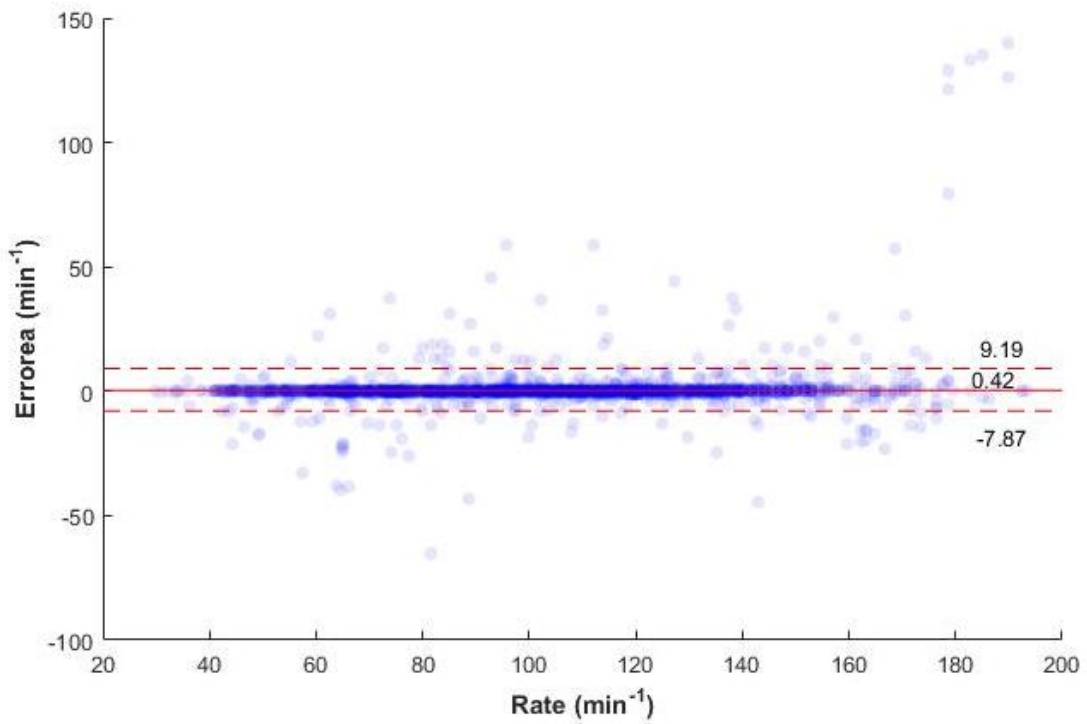
Irudia 48: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, PT algoritmoa)

■ HAMILTON-TOMPKINS



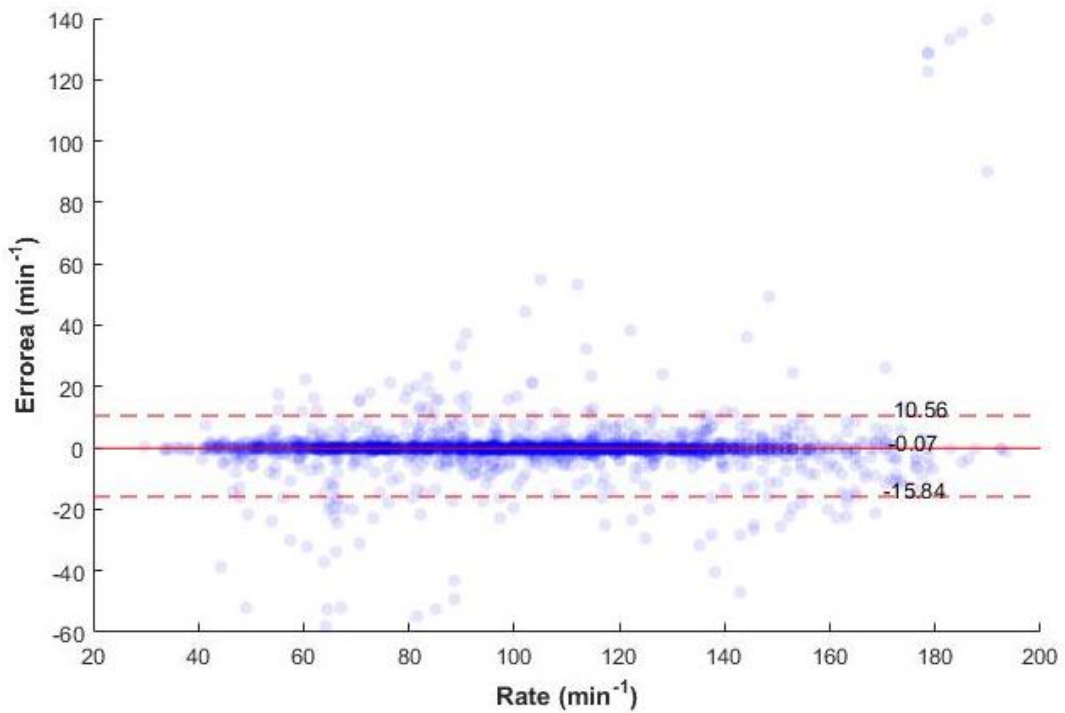
Irudia 49: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, HT algoritmoa)

■ SQRS ALGORITMOA



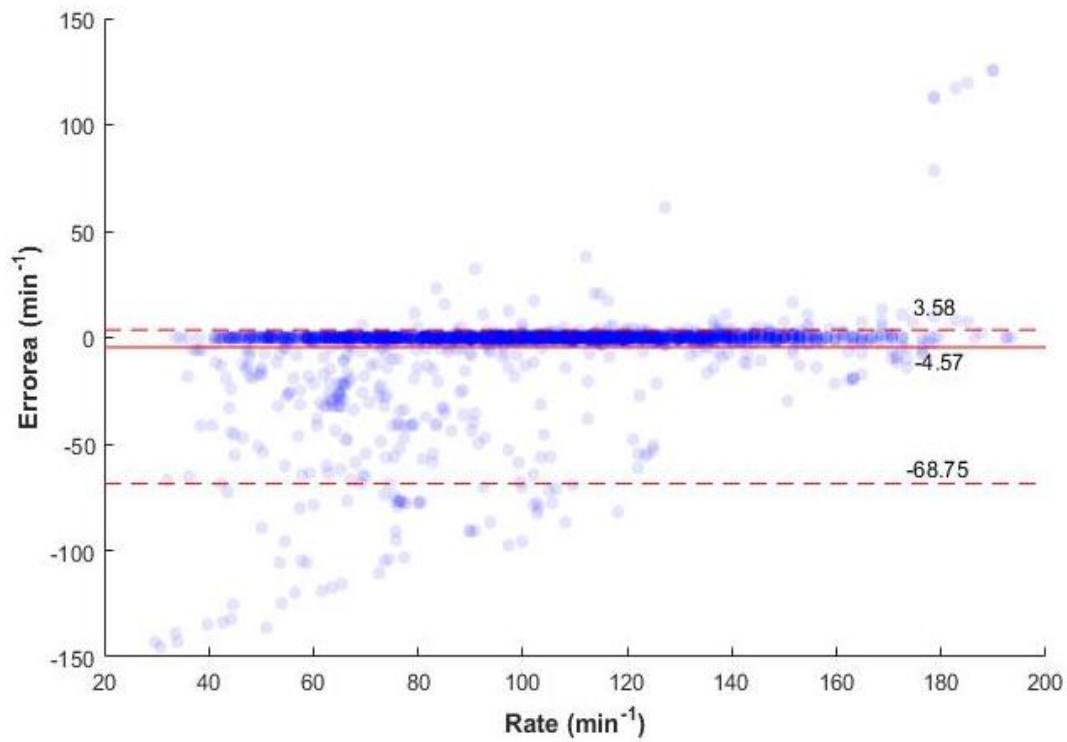
Irudia 50: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, SQRS algoritmoa)

■ GQRS ALGORITMOA



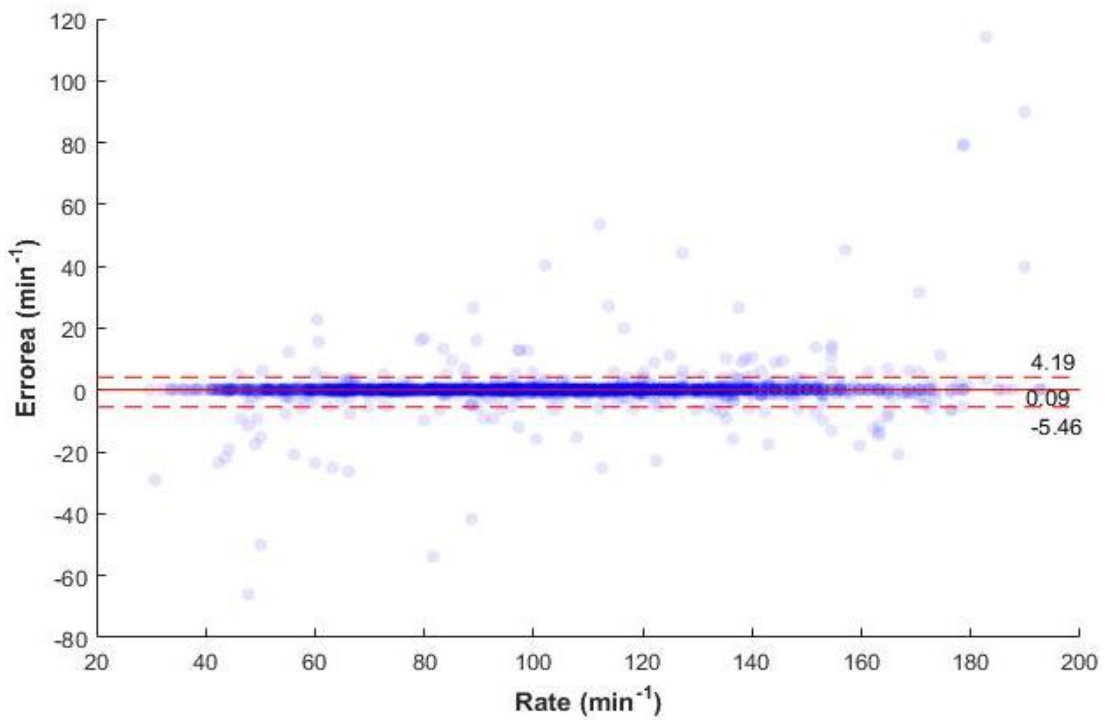
Irudia 51: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, GQRS algoritmoa)

■ WQRS ALGORITMOA



Irudia 52: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, WQRS algoritmoa)

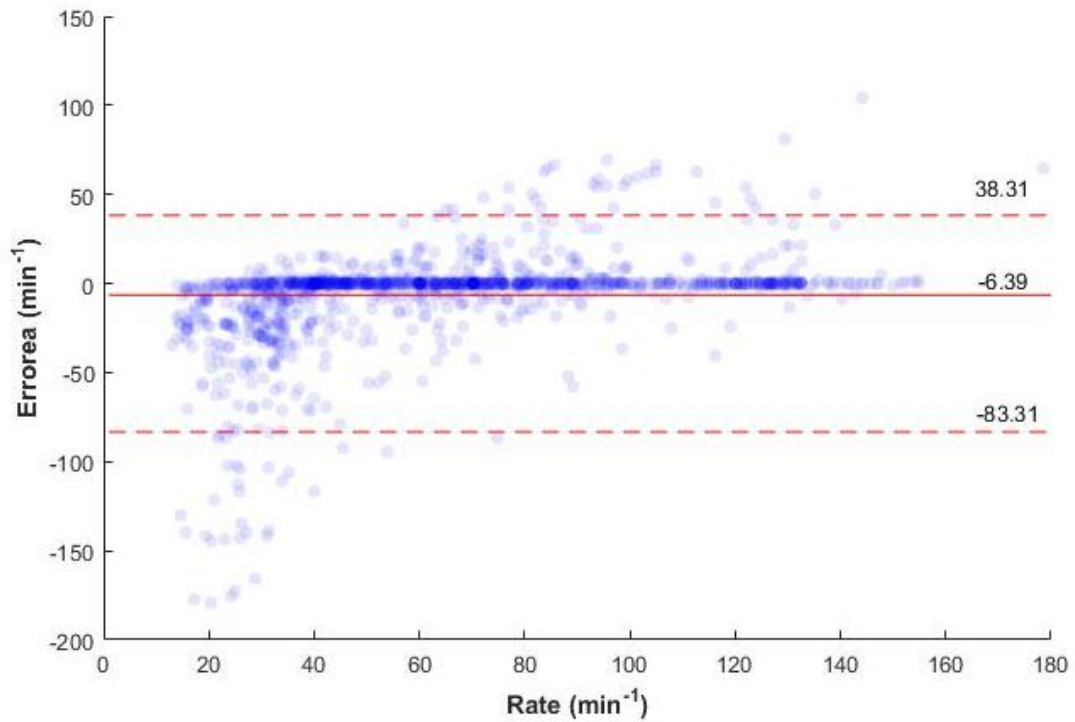
■ ST-QRS ALGORITMOA



Irudia 53: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PR, ST-QRS algoritmoa)

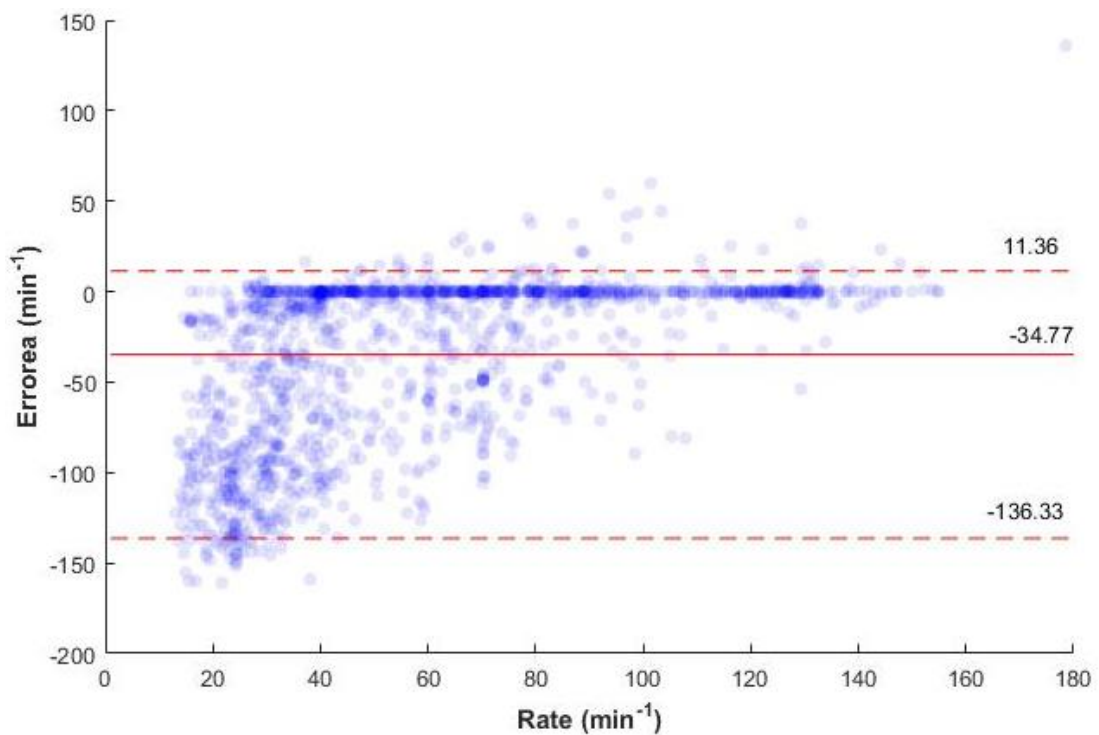
ii. PEA erritmodun seinaleak erabilita

■ PAN-TOMPKINS



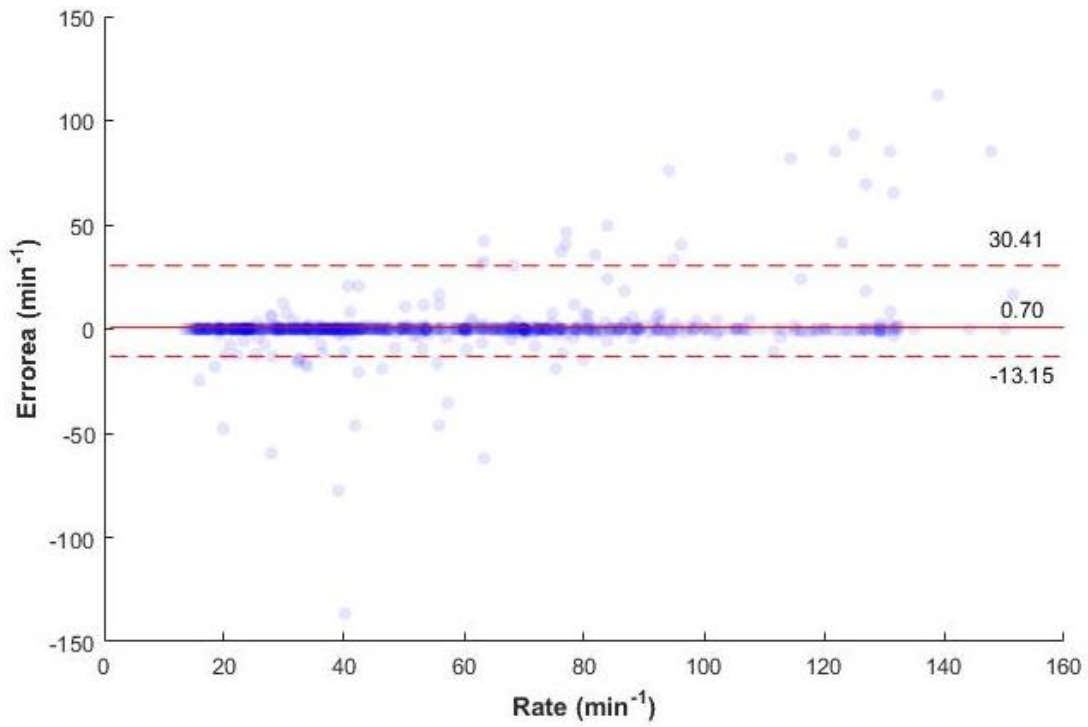
Irudia 54: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, PT algoritmoa)

■ HAMILTON-TOMPKINS



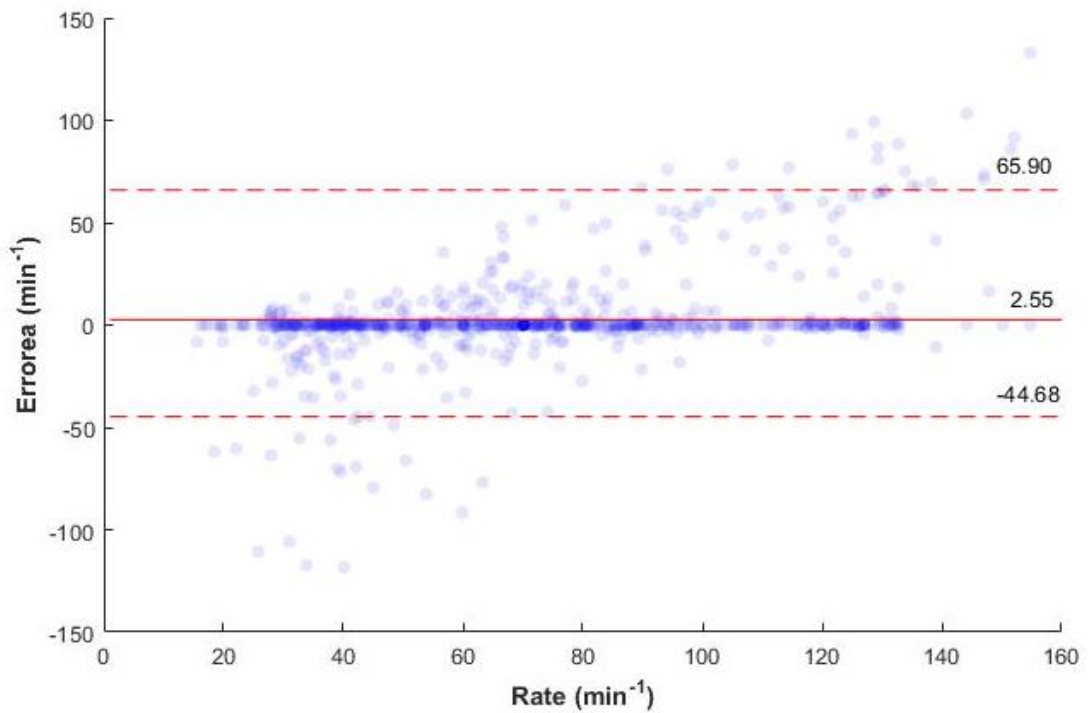
Irudia 55: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, HT algoritmoa)

■ SQRS ALGORITMOA



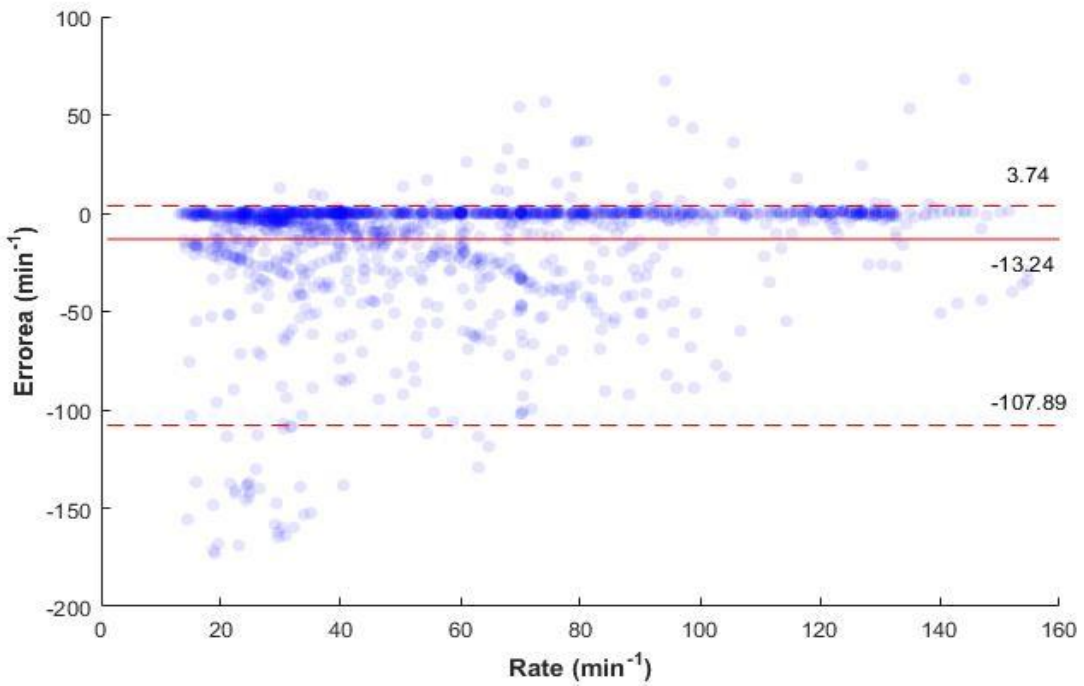
Irudia 56: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, SQRS algoritmoa)

■ GQRS ALGORITMOA



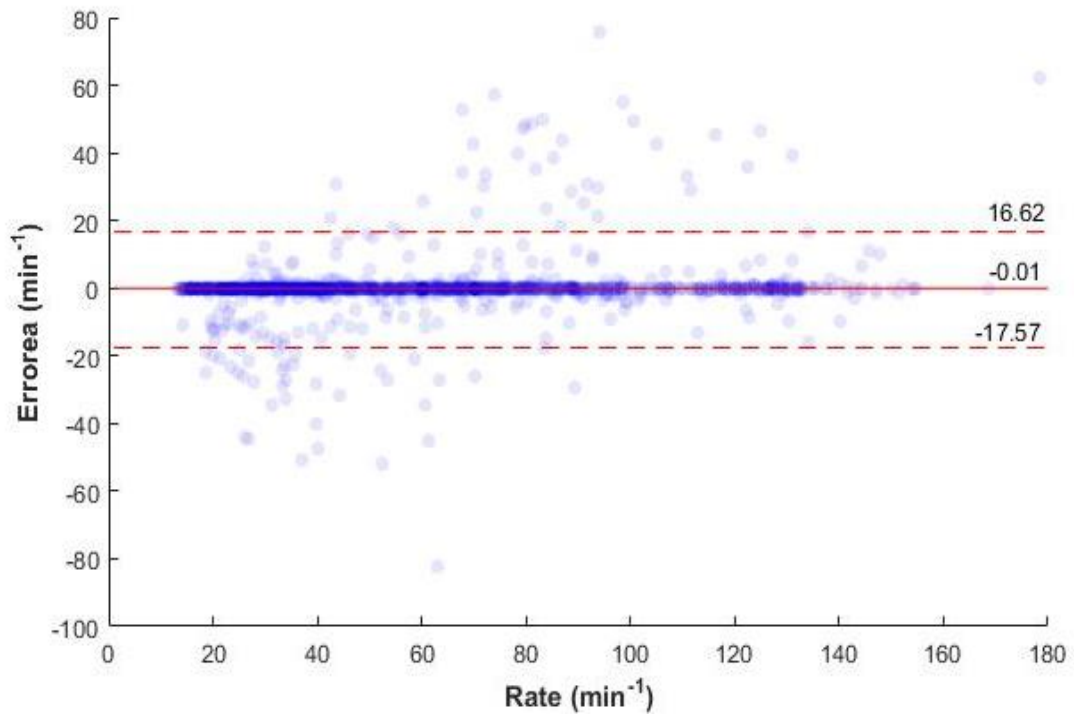
Irudia 57: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, GQRS algoritmoa)

■ WQRS ALGORITMOA



Irudia 58: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, WQRS algoritmoa)

■ ST-QRS ALGORITMOA



Irudia 59: Bland-Altman diagrama %95eko kuartilarekin (PEA, ST-QRS algoritmoa)