

**ИНФОКОММУНИКАЦИОН ТАРМОҚЛАР ВА ТИЗИМЛАР  
INFOCOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS**

УДК 0-12-437552-9

**КАРДИОГРАММАНИ МАСОФАДАН МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ  
ТИЗИМИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ***Насимов Р.Х., Насимова Н.М., Жўраева Г.А.*

Ушбу мақолада юрак уришини мониторинг қилиш усуллари, фотоплетизмография (ФПГ) ва электрокардиография (ЭКГ) сенсорлари ва ФПГ ва ЭКГ сигналларга ишлов бериш ҳамда QRS комплексини аниқлаш жараёни таҳлил қилинди. Шунингдек, ЭКГ сигналларини масофадан мониторинг қилиш тизими ишлаб чиқилди.

**Таянч иборалар:** мониторинг қилиш усуллари, юрак уриши тезлиги, ЭКГ ва ФПГ сенсорлар, ЭКГ ва ФПГ сигналлар, ЭКГ ва ФПГ сигналларига ишлов бериш, QRSни аниқлаш, масофадан мониторинг қилиш.

В этой статье были проанализированы методы мониторинга сердечного ритма, фотоплетизмография (ФПГ), электрокардиографию (ЭКГ) датчики, обработка сигналов ФПГ и ЭКГ, а также обнаружение QRS комплекс. Была разработана система мониторинга сигналов ЭКГ.

**Ключевые слова:** методы мониторинга, сердечный ритм, датчики ЭКГ и ФПГ, сигналы ЭКГ и ФПГ, обработка сигналов ЭКГ и ФПГ, обнаружение QRS, дистанционный мониторинг.

In this paper has been considered the methods of monitoring of heart activities and current popular methods. Photoplethysmography (PPG) method, its history, heart rate (HR) detection methods and its features have also taken into consideration. Also, pulse-oximeter and working principles of it and spectral characteristics were learned as well as how an important to research special filters against of bio noises were explained. Advantages and disadvantages of ECG and PPG signal processing pointed out and which part of the PPG signal should be worked in the future were analyzed. ECG signal processing is on top of usage for detecting of heart diseases in worldwide today. Many heart rate monitoring systems, which are correctly and accurately working if we compared with PPG, are based on ECG methods. Moreover, PPG based systems are more potential than ECG, but PPG method is still a new direction to be researching. According to the experts and researchers, in the near future PPG based systems and devices will be widely developed over the world. Many more vendors are choice PPG methods for their products like diverse type of smartwatches, smartphones, web applications and medical devices. However, ECG is the best for the stationary cases. For our

project, we are going to use ECG sensor to obtain bio signals from the heart and to evaluate. ECG signal has 6 amplitudes that each of them can tell us about heart activities. In this case QRS complex detection has choice that some heart diseases like arrhythmias, conduction abnormalities, ventricular hypertrophy, myocardial infarction, electrolyte disturbances and others) can be monitored and analyzed. Also, HR monitoring system architecture based on ECG methods are developed.

**Keywords:** methods of monitoring, heart activities, ECG and PPG sensors, ECG and PPG signals, ECG and PPG signal processing, QRS detection, remote monitoring.

## I. КИРИШ

Инсонларда пайдо бўладиган кўплаб касалликларни юрак уришининг ўзгаришларига қараб аниқлаш, уларга ташхис қўйиш ва даволаш жуда узоқ йиллик тарихга бориб тақалади. Бугунги кунда ҳам юрак уриши тезлигини ўлчаш ва уни доимий назорат қилиш нафақат турли юрак касаллиги бор бўлган беморлар учун балки соғлом одамлар учун ҳам муҳим бўлиб бормоқда. Шунинг учун ҳам, юрак уришини аниқлайдиган мобил иловалар, веб дастурлар ва ақлли соатларнинг турли кўринишлари дунё миқёсида кенг ишлаб чиқарилмоқда. Улар кундан кун тараққий этиб, борган сари қулай, енгил, арзон ва ҳатто бежирим кўринишда ишлаб чиқарилмоқда. Шунингдек, улар кўплаб қўшимча имкониятларни, масалан, юрак уришини ҳисоблаш, тана ҳароратини ва қоннинг кислородга тўйинганлик даражасини ўлчаш, сарф этилган калорияни ҳисоблаш, босиб ўтилган масофани ўлчаш, турган жойни координатасини кўрсатиш, маълумотларни сақлаш ва керакли қурилмага (телефон, таблет, компьютер, сервер ва ҳк.) узатиш ва ҳатто зарур бўлганда тез ёрдамни чақириш каби имкониятларни қўллаб қувватлайди. Бундан ташқари, турли йўналишдаги спорт машғулоти билан шуғулланувчилар учун турли имкониятли мониторинг тизимлари ишлаб чиқилди ва тобора уларнинг имкониятлари такомиллаштирилмоқда [1].

Шуни таъкидлаб ўтиш лозимки, телекоммуникация бозоридаги кўплаб юрак уришини мониторинг қилувчи тизимлар асосан бизнес мақсадлари учун мўлжалланган. Шунингдек, олинган сигналларни аниқловчи, ҳисобловчи ва кузатувчи тизимларнинг таннархи арзон бўлишига эътибор қаратилганлиги сабабли уларнинг аниқлик даражаси чекланган.

Турли ишлаб чиқарувчилар томонидан таклиф этилаётган мониторинг тизимлари асосан икки хил принципга асосан ишлайди. Умуман олганда юрак уришини мониторинг қилиш тизимлари қуйидаги принципларга асосланган бўлиши мумкин:

***1. Бевосита одамга тегиб турадиган сенсорлар орқали юрак уришини кузатиш.***

- Электрокардиография (ЭКГ).
- Фотоплетисмография (ФПГ).

- Тебранишларга асосланган усул (ТАУ).
- Фонокардиография (ФКГ).

## **2. Қисқа масофадан туриб юрак фаолиятини кузатиш.**

- Доплер эффектига асосланиб юрак уришини радио тўлқинлар ёрдамида кузатиш усули.
- Доплер эффектига асосланиб юрак уришини лазер орқали кузатиш усули.
- Товушга асосланиб юрак уришини кузатиш усули.
- Магнит индукциясига асосланиб юрак уришини кузатиш усули.
- Сиғимга асосланиб юрак уришини кузатиш усули.

Бу усулларнинг аксариятининг ишлаш принципи анча мураккаб ҳамда қатор ноқулайликларга эга бўлганлиги учун масофадан мониторинг қилиш тизимларида кўпинча бу усуллардан фойдаланилмайди. ЭКГ ва ФПГ билан таққослаганда бошқа усулларнинг ишлаш аниқлиги анча паст ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан бу каби усулларга асосланган қурилмалардан амалиётда жуда кам фойдаланиб келинмоқда. Ушбу мақолада ЭКГ ва ФПГ усулларига асосланган қурилмалар муҳокама этилади ҳамда уларнинг афзаллик ва камчилик томонлари таҳлил қилинади.

## **II. АСОСИЙ ҚИСМ**

Фотоплетисмография – импульсли оксиметрдан фойдаланиб тери орқали периферик қон айланишида қон ҳажмининг ўзгаришини аниқлаш учун ишлатиладиган оптик усулдир. Терига зарар етказмасдан, оптик сигналлар ёрдамида юрак қон-томир тизимининг ўзгаришлари ҳақидаги маълумотларни олиш усули ҳисобланиб, дунё микёсида бу усулга асосланган махсус иловалар, мобиль қурилмалари, ақлли соатлар, гаджетлар ва махсус қурилмаларда кенг қўлланилмоқда, ҳамда фойдаланиш қулай бўлганлиги сабабли жуда оммалашиб бормоқда. ФПГ усулидан фойдаланиб юрак уриш тезлигини, нафас олиш тезлигини ва тўқиманинг қариши каби бир қатор физиологик параметрларни, ҳамда қон-томир ва юракдаги баъзи ўзгаришларни ҳисоблаш ва мониторинг қилиш мумкин. Шунингдек, ФПГ усулига асосланган махсус тиббиёт ускуналари орқали олинган сигналлар ёрдамида гипертензия ва атеросклероз каби юрак қон-томир касалликларини баҳолаш, ҳатто артериаларнинг қаттиқлиги ва эластиклиги ҳақидаги муҳим маълумотларни олиш мумкин. ФПГ сенсорларидан фойдаланиб инсон тўқималарининг кичик қон-томирларида қон айланиши микдорининг ўзгаришини қайд этиш ҳам мумкин [2].

Тадқиқодчилар ФПГ усулини қон ҳажмини ўрганиш учун қўллаш мумкин эканлигини 1936 йилда иккита тадқиқот гуруҳи (Мерск Терапевтик Илмий Тадқиқот Институтидан (МТИТИ) Молитор ва Князуклар ҳамда Станфорд Университетининг Тиббиёт Мактабидан Нью Жерси ва Ганзликлар)

бир-биридан мустақил тарзда (куёнларнинг қулоғидан оқаётган қон ҳажмининг ўзгаришини аниқлаш орқали) аниқлашган. Кейинчалик, МТИТИ тадқиқотчилари ёруғликнинг қайтишига асосланган ФПГ сенсорлари ёрдамида инсон бармоғининг қон-томирларидан оқаётган қонни таҳлил қилиш мумкинлигини илмий тажрибада намоён қилишди. 1937 йилда ФПГ усулини инсонда қўллаш илк бора Ст.Луиз Университети Тиббиёт Мактаби Физиология кафедраси олими Алрик Герцман томонидан амалга оширилди. 1940 йилда Физиология кафедрасининг тадқиқотчилари Герцман ва Диллон томонидан токни ўзгарувчан (АС) ва ўзгармас (DC) ташкил этувчиларга ажратиб, уларнинг ҳар бири учун алоҳида электрон кучайтиргич ишлатдилар ва вазомотор фаоллигини кузатдилар. Тажрибалар натижасида Герцман шуни аниқладики, ФПГ техникасидаги хатоликка, сигнал сифатига тери билан сенсорларнинг яхши тегиб турмаслиги сабаб бўлар экан. Шунингдек улар, сенсорни ҳаддан ташқари қатта босим билан терига босиш ҳам яхши натижа бермаслигини исботлашди. Шунингдек, олимлар сенсорлар текшириладиган соҳа устида ҳаракатсиз туриши кераклигини, ҳар қандай ҳаракат, ёки силжиш хатоликка олиб келиши мумкинлигини ўз изланишлари домида аниқладилар. Кузатувлар ва изланишлар натижаси бугунги кунда кенг ишлатилаётган сенсор қурилмаларининг тараққий этишига туртки бўлди [3].

Охириги ўн йилликларда кичик ҳажмли, аниқлиги юқори, таннархи арзон ва фойдаланиш қулай, терининг бутунлигини бузмасдан юрак уриши ҳақидаги маълумотларни тақдим этувчи технологияларга бўлган талабнинг ортиши билан фотоплетисмография устида кенг қамровли қизгин илмий изланишлар бошлади. Опто-электроника ва клиник қурилмаларнинг ривожланиши ФПГнинг ривожига салмоқли хисса қўшди. Бугунги кунда ФПГ усулини янада такомиллаштириш, шовқинларни пасайтириш, олинган сигналларни таҳлил қилиш борасида жуда кўп илмий ишлар олиб борилмоқда. ФПГ усулидан юрак уриш жараенини таҳлил қилишда, юрак касалликларни аниқлашда, касалликларга тўғри ташхис қўйишда ва биосигналларни ўрганишдаги бошқа мақсадларда кенг фойдаланиш имконияти яратилмоқда.

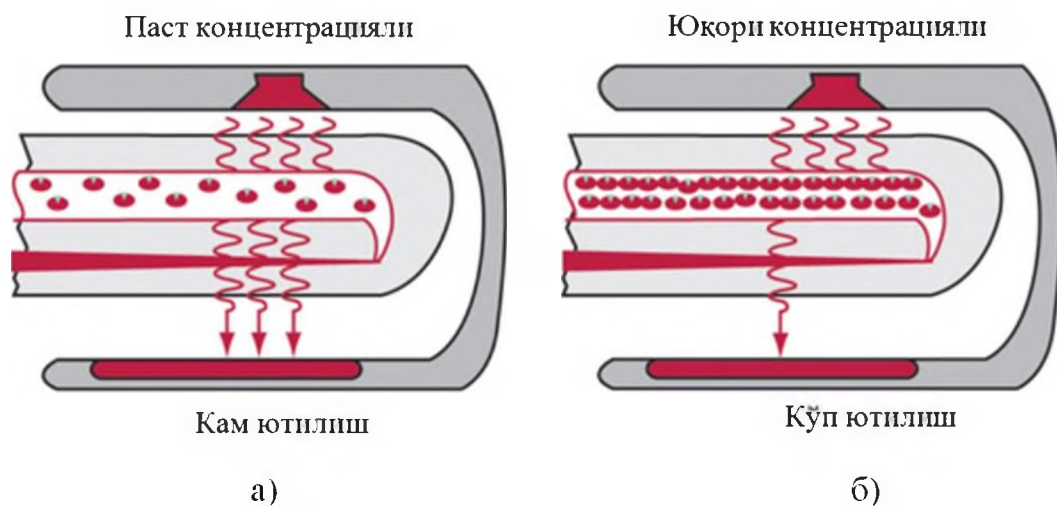
Юракнинг ҳар бир циклида юрак орқали томирлар бўйлаб ҳайдалган қон инсон танаси бўйлаб тарқалади ҳамда ҳар бир юрак цикли домида тана бўйлаб оқаётган қоннинг ҳажми турли ҳажмга эга бўлади. Шунинг учун ҳам, томирга ёруғлик сигналани ютилиши орқали юрак урушини аниқлаш жараёни бир хилда кечмайди: қон ҳажмига мос равишда тўғри пропорционал бўлади яъни кўпроқ ҳажмли қонда ёруғлик кўпроқ ютилади ёки аксинча (1-расм). Демак, ютилиш интенсивлигининг вақт бўйича ўзгариши юрак уриш ритмига мос бўлар экан. Шунингдек, қон таркибига кўра ёруғликнинг ютилиши ҳам ҳар хил бўлади: қон таркибида ёруғликни ютувчи моддалар (глюкоза, кислород ва ҳк.) миқдорига кўра нур кўпроқ ёки камроқ ютилиши мумкин. ФПГ билан юрак уришини аниқлаш жараёни икки хил усулда амалга оширилиши мумкин:

1. Агар сенсорлар ёруғлик нурунинг тўқималардан ўтган қисмини қайд этса, ФПГ усули ёруғлик ютилишига асосланган усул ҳисобланади.

2. Ёки сенсорлар ёруғлик нурунинг тўқималардан қайтган қисмини қайд этса, ФПГ усули ёруғликнинг қайтишига асосланган усул ҳисобланади.

Одатда бундай усулларга асосланган қурилмалар учун инфрақизил, қизил ва кўк нури ёруғлик диодларидан фойдаланилади. Лекин инфрақизил ва қизил нурулар тери тўқималарида кўп ютилгани учун қон томирчаларигача яхши етиб бора олмайди ва олинган натижаларнинг аниқлиги пасайиб кетиши мумкин. Шу сабабли, ФПГ усулида кўк ёки яшил нурулардан фойдаланиш натижанинг аниқлигини ошишига сабаб бўлиши мумкин.

Инсон танасида қон-томир ўзгаришларига қараб юрак уришини аниқлаш бир нечта нуқтадан амалга оширилиши мумкин, масалан, елка, кўкрак қафаси, бармоқлар, билак ва ишлаб чиқарувчилар томонидан таклиф этилган усулларга мос бошқа нуқталардан ҳам бўлиши мумкин. 1-расмда бармоқдаги қон оқимининг ўзгаришига қараб юрак уришини аниқлаш жараёни кўрсатилган.

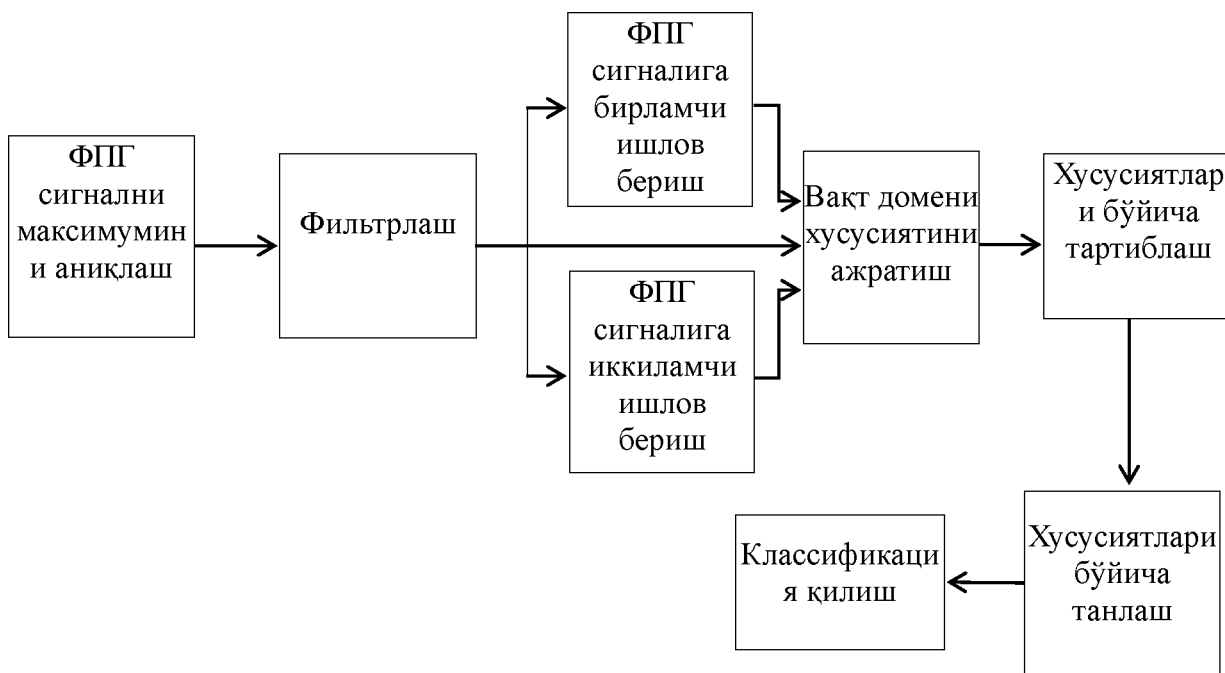


1-расм. Импульс-оксиметрнинг ишлаш принципи. Қон оқими ҳажмининг ўзгаришига қараб ёруғлик ютилишининг ўзгариши: а) кам ҳажмга мос кам ютилиш, б) кўп ҳажмга мос кўп ютилиш

Одатда ёруғлик диодида сигналлар модуляцияланган электр сигнали ёрдамида ҳосил қилинади ҳамда сигналда паст частотали шовқинлар натижасида юзага келадиган интерференциянинг таъсирлари талаб даражасига келтирилади. Замонавий ФПГ сенсорларини ясашда арзон нархли ярим ўтказгичли технологиялардан: LED ва унга мос фотодетекторлардан фойдаланилади. Одатда бу LED ва фотодетекторлар қизил ёки яқин инфрақизил тўлқинлар соҳасида ишлайди. ФПГ ва импульс оксиметрлари учун қўлланилувчи оптик сенсорлар ҳақида Вебстер ўзининг таҳлилий мақоласида асосий маълумотларни келтириб ўтган. ФПГ сенсорларини

яшашда ва юрак уришини ўрганиш жараёнида ФПГ сенсорларидан фойдаланиб биосигналларга ишлов беришда ёруғлик манбаини тўғри танлаш жуда муҳим ҳисобланади. LED технологиялари электр энергияни ёруғлик энергиясига айлантириб беради ва улар жуда тор частота полосасига эга бўлади (одатда 50  $\mu\text{m}$ ). LED технологияси кичкина, хизмат қилиш муддати жуда узок ( $>10^5$  соат), катта ҳарорат ўзгаришида спектри максимуми жуда кичик микдорга силжийди. LED технологияларининг ўртача интенсивлиги ўзгармас сақланиши, яъни энг кичик минимум қийматда сақланиши лозим бўлади. Чунки шундагина маҳаллий тери тўқималарининг қизиқ кетиши ва жароҳатланишининг олди самарали олиниши мумкин. Шу билан бирга фотодетекторни тўғри танлаш ҳам муҳим аҳамиятли иш ҳисобланади. Фотодетектор ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантириб берганлиги учун унинг спектрал характеристикаси ёруғлик манбаиники билан мос тушиши жуда муҳимдир.

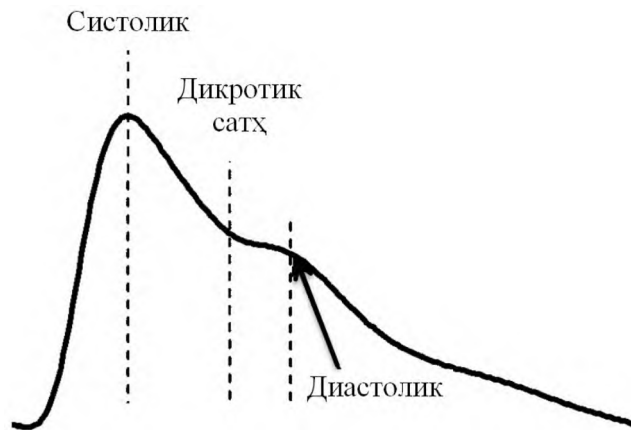
Таъкидлаб ўтиш ўринлики, ФПГ сенсорлари юрак қон-томир тизимининг функционал ўзаришларини оптик сигналларга асосланган ҳолда қайт этгани сабабли улар атроф-муҳит таъсирида юзага келаётган ташқи ёруғликни ҳам қайд этади, яъни уларда шовқин даражаси жуда юқори бўлади. Шунинг учун ҳам ФПГ усулига асосланган қурилмаларда шовқинни пасайтирувчи махсус филтрлар ишлаб чиқилган.



2-расм. ФПГ усулида сигналга ишлов бериш

Филтрлаш жараёни якунлангандан кейин, ФПГ импульси одатда икки қисмга ажратилади: импульсининг четки қисмида ўсувчи анакроник фазага ва импульсининг четки қисмида камаювчи катакрод фазага. ФПГ сигнали одатда систолик (systolic), диастолик (diastolic) ва ташқи тўлқинлар босқичларидан ташкил топган бўлади. 3-расмдан кўриниб турибдики, дикротик сатҳи

(dicrotic notch) соғлом артериялар бўлган катакротик босқичда ва систолик амплитуда ўлчаш жойи атрофида юзага келган артерия қон оқимидаги пульсацияланувчи ўзгаришларнинг кўрсаткичларида содир бўлади. Систолик амплитуда ҳайдалган қон ҳажмига боғлиқ бўлади. Дорлас ва Нижбурлар бир минутда юрак ҳайдаган қон ҳажми қон томирлари кенгайишидаги систолик амплитудани тўғри пропорционал эканлигини изланишлари давомида аниқладилар. Улар шунингдек, услуксиз қон босимини баҳолаш учун импульсларни келиш вақтига қараганда систолик амплитуда орқали юрак уришини аниқлаш кўпроқ қулай эканлигини исботладилар. Ҳар бир юрак уриши танада турли қон ҳажмининг тарқалишига сабаб бўлганлиги учун, ФПГ сигнали юракнинг синхрон ўзгаришларини ифодаловчи пульсацияланувчи физиологик шаклга эга бўлади. Бунда асосий тебранишлар ёнида кичик ўзгаришли тебранишларни кўришимиз мумкин, бу тебранишлар нафас олиш, терморегуляция, тери тўқималари табиати ва бошқа факторлар сабабли юзага келувчи паст частотали тебранишлардир.



3-расм. ФПГ сигналининг умумий кўриниши

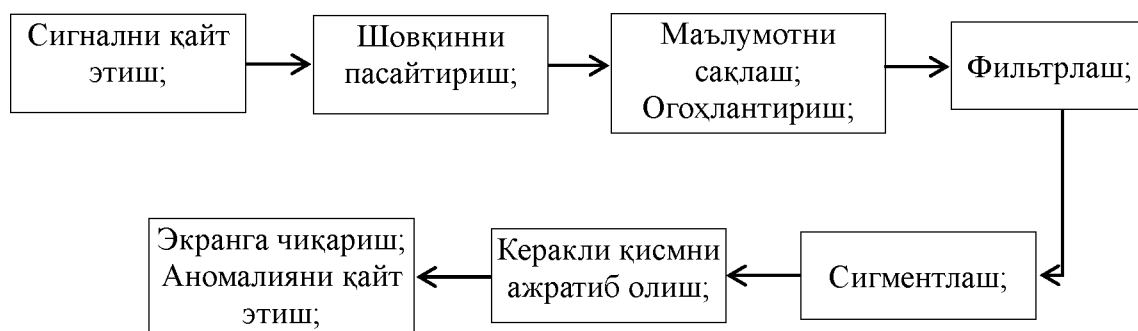
ФПГ усули қуйидаги камчиликларга эга:

- ФПГ усулига асосланган тизимнинг тузилиши жуда мураккаб кўринишга эга бўлади. Бу эса керакли параметрни ҳисоблаш учун қўшимча вақт ва қўшимча қурилма талаб қилади;
- Қурилмалар нейрон тармоқларига ёки норавшан тизимга асосланганлиги сабабли уларни тадқиқ этувчидан алоҳида кўникма талаб этади (филтрлашнинг ўзи ҳам бир нечта босқичдан иборат, нейрал тармоқ топологияси жуда мураккаб ҳисобланади, ва ҳк.) ёки муайян ўзгарувчи параметрларни мувофиқлаштириб олиш талаб этилади (масалан, одам териси рангига қараб ютилиш интенсивлиги ўзгаради);
- Баъзи қурилмалар билан мослашувчанлиги талаб даражасида эмас, масалан, об-ҳавонинг ўта совиб ёки исиб кетиши натижасида ФПГ

қурилмасининг дастури ёки қурилма таъминоти билан ишловчи сенсорларнинг такдим этадиган маълумотларда ноаниқлик кузатилиши мумкин.

Электрокардиограмма. Электрокардиограмма – терига ўрнатилган электр сенсорларидан маълум вақт давомида фойдаланиб юрак фаолиятини электр кўринишида ёзиб олиш усулидир. Юрак мускулларининг қисқариб кенгайиши натижасида қоннинг юракка кириши ва у орқали танага чиқиши фаолиятини таъминланади. Ҳар бир юрак циклида сино артиал деб номланувчи юракдаги тўқималарнинг гуруҳи бутун тана бўйлаб тарқалувчи биологик сигналларини ишлаб чиқаради. Одам танасининг махсус нуқталарига (1 тадан 10 тагача) электродларни жойлаштириб танадаги электрик сигналларни аниқлаш ЭКГнинг асосий жараёнини ташкил этади. Электрокардиограмма маълум вақт давомида электродлар орқали олинган ва тўпланган турли биосигналлар асосида юрак тизимининг умумий ритминини кўрсатади.

Биринчи марта 1901 йилда Виллям Эйнтховен томонидан электрокардиограмма кўплаб хатоликлар билан тор галвонометрдан фойдаланиб юрак урушини таҳлил қилинган бўлса, 1924 йили сезгирлиги анча юқори бўлган сенсор қурилмаларидан фойдаланган олим Виллямнинг иши медицина соҳасида ЭКГ усулини қўлланилиши билан яқунланди ва ўша йили Виллям медицина йўналиши бўйича Нобел мукофоти билан тақдирланди. 1927 йил галвонометрга асосланмаган ЭКГ аппарати яратилди ва шу тариқа ЭКГ усули давомий ривожлантирилди.



4-расм. Электрокардиограмма усулида сигналга ишлов бериш

Биосигналларни қайд этиш қурилмалари асосан учта турли тизимости тизимлардан ташкил топади, 4-расмда блок-схемаси келтирилган. Биринчи тизимости махсус электродлар бўлиб, улар одам танасидаги биосигналларни қайд этади ва қурилмага узатувчи интерфейс вазифасини ўтайди. Иккинчи тизимости сигналга ишлов берувчи асосий қисм бўлиб, биосигналлар амплитудаси жуда кичик ( $\mu\text{В}$  –  $\text{мВ}$  гача оралиқда) ва паст частотали ( $0,1 \text{ Гц}$  –  $1 \text{ кГц}$ ) бўлганлиги сабабли, одатда сигналларни ташқи шовқинлардан филтрлаб кейин кучайтирувчи элементлардан ташкил топади. Охири



тизимости эса алоқа блогидан ташкил топган бўлиб, ҳост тугун билан алоқа ўрнатиш учун хизмат қилади. Бу ҳост тугун компьютер, смартфон ёки бошқа турдаги компьютерлашган охирги қурилма бўлиши мумкин.

Биринчи босқичда сигнал кайд этиш жараёни амалга оширилади ва бу вазифа одатда электродлар томонидан амалга оширилади. Электродларнинг вазифаси кучланишни ионлардан иборат (потенциаллар фарқи) ҳолатдан симлардаги ҳаракатланувчи электронлар ҳолатига ўтказиб беришдан иборатдир. ЭКГ электродлари асосан икки хил кўринишда бўлиши мумкин: қутбланган ва қутбланмаган, ёки қуруқ ва нам электродлар [4]:

- Қутбланмаган электродлар. Узоқ йиллардан буён тиббиётда ишлатилиб келинаётган электрон элементлардан ҳисобланиб, бунда Ag/AgCl элементли ёпишқоқ гелли электродлардан фойдаланилади. Бу турдаги электродларда гел ва биологик тўқималар орасида кечувчи электрокимёвий жараёнлар одам танаси ва электрод ўртасида сигнал ўтказувчи кўприк вазифасини ўтайди ва бу кўприк бўйлаб ҳақиқий ток оқиб ўтади. Уларнинг қуйида келтирилгани каби ижобий ва салбий томонлари мавжуд:

Ижобий тарафлари:

- ЭКГ сенсорларида Ag/AgCl моддасидан фойдаланилгани учун, электродлар терига яхши мослашади ва ҳаракат натижасида келиб чикувчи ноқулайликларнинг олдини олади.
- Ag/AgCl моддаси сабабли жуда яхши аниқликдаги ЭКГ сигналинини олиш мумкин.

Салбий тарафлари:

- Узоқ муддат давомида терига сурилган Ag/AgCl моддаси ачишиш, қичишиш ва турли дерматологик касалликларни чақиритиши мумкин.
- Шунингдек, терига сурилган Ag/AgCl моддасидан узоқ муддат давомида фойдаланилганида теридаги гел қуриб қолади ва ЭКГ сигналининг сифати ёмонлашиб кетишига олиб келади. Шу сабабли ҳам ЭКГ сенсорларини доимий тақиб юриш ҳолатлари ноқулайликларга сабаб бўлиши мумкин, ҳамда уй шароитларида қўллаш мушкул ҳисобланади.
- Қутбланган электродлар. Қутбланмаган электродлардан фарқли равишда қутбланган электродларда электр токи оқиб ўтмайди. Балки, бунда электрод ва тери ўртасидаги ионлар концентрациясининг ўзгариши сабабли силжиш токи вужудга келади. Бу электродларнинг ишлаш принципи ўтказувчи материал ва тери ўртасида сиғим бирикмасини ҳосил бўлишига асосланган. Бундай жараён учун ҳеч қандай гел талаб қилинмайди, балки теридаги намликнинг ўзи етарлидир. Қуруқ электродлар терига тегиб турадиган ва тегмайдиган турларга бўлинади:

- Терига тегиб турадиган куруқ электродлар: Терига тегиб турадиган куруқ электродларнинг энг содда кўриниши терига тегиб турадиган метал диск шаклидагилари ҳисобланади. Бу электродлар учун махсус гель талаб этилмайди. У анча қулай ҳисоблансада, каттиқ бўлганлиги сабабли узоқ вақт қўлланганда терида ачишишни келтириб чиқариши мумкин. Шунингдек, бу турдаги электродлар сезгир бўлганлиги сабабли тери билан ўзаро ишқаланиши натижасида сигнал сифати бузилиши мумкин. Шу сабабли ҳам, электродлар терига мустаҳкам туриши учун махсус тасмалардан фойдаланилади. Сўнгги йилларда олиб борилаётган изланишлар натижасида ЭКГ усулида мавжуд камчиликларни самарали бартараф этишга эришилди, яъни смарттекстил (smartextile) матолари ишлаб чиқилиши билан камчиликларни бартараф этиш имконияти яратилди. Смарттекстилдан бармоққа, билакка, кўкрак қафасига ёки тананинг бошқа қисмларида фойдаланиш мумкин бўлади. Смарттекстил кумуш қопланган нейлон (AgNy), зангламайдиган пўлат қопланган мато ёки кумуш қопланган мисли мато (AgCu) бўлиши мумкин. Бундай матолар инсон териси билан юқори мослашувчанликни, эгилувчанликни таъминлайди ва терида турли ноқулай ҳолатларни юзага келтирмайди. Смарттекстилдан узоқ муддат давомида инсонларнинг юрак фаолиятини ўрганишда фойдаланиш мумкин.
- Терига тегиб турмайдиган куруқ электродлар: тегиб турмайдиган электродларнинг юқорида келтириб ўтилган турларидан фарқи, уларнинг электродлари юзасига изоляция қатлами ётқизилган. Бунда сифимини кучайтириш учун электродлар юзасини катталаштириб, юпқа диэлектрик қатламидан фойдаланиб ёки сингдирувчанлиги катта бўлган материаллардан фойдаланиш мумкин. Бу электродлар ҳам ҳаракатга ўта сезувчан бўлиб, тери қатламига турли ноқулайликларни келтириб чиқармайди. Айни вақтда бу турдаги электродлардан смарт футболкаларни ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилмоқда.

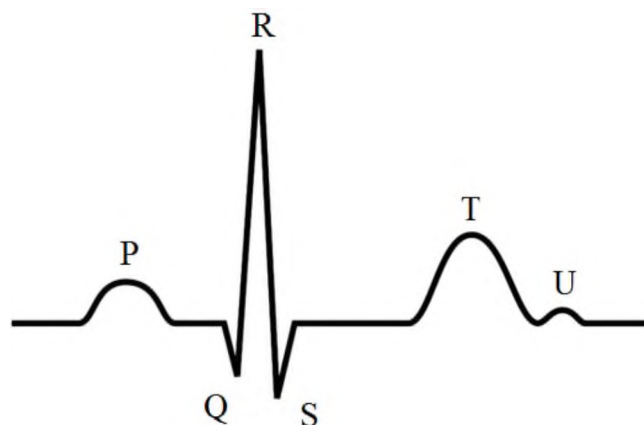
ЭКГ электродлари қайд этган биосигналларнинг таркибида шовкин жуда юқори бўлади ва юрак касалликларини мониторинг қилишда кўплаб муаммолар шовкинлар билан боғлиқдир [5]. Одатда ЭКГ қайт этган сигналларга қуйидаги кўринишдаги шовкинлар ўз таъсирини кўрсатиши мумкин.

1. ЭКГ атрофидаги қурилмаларнинг электр интерференцияси (асосий электр тармоғиники)нинг таъсири.
2. Электродлар жойлаштирилган нуқта атрофидаги ички ва ташқи сигналлар сабаб юзага келадиган шовкинларнинг таъсири.
3. Электромёграмма шовкинлари: мушаклар қисқаришида ҳосил бўлувчи кичик тоқлар.

4. Ҳаракатланишдаги шовқинларнинг таъсири.
5. Нафас олишдаги таъсирлар.
6. Аналог-рақамли ўзгартиришдаги шовқинларнинг таъсири.

Сигналларга рақамли ишлов бериш жараёнида, шовқинларнинг таъсири талаб даражасига келтирилади, яъни юқори частотали ва паст частотали шовқинлар юқори частотали (high pass) ва паст частотали (low pass) филтрлардан фойдаланиб филтрланади. Кейин, керакли частотани ажратиб олиш учун филтрланган сигналлар поласали (bandpass) филтрдан ўтиб сегментлаш жараёни босқичига ўтказилади. ЭКГнинг ҳар бир сегментланган бўлаги юракнинг бир циклини ифодалайди, 3-расмда келтирилгани каби. ЭКГ сигналида ҳосил бўлувчи максимумлар лотин алифбосидаги бош ҳарф билан ифодаланади: P, Q, R, S, T ва U.

Одатда, ўртача юрак уриш тезлиги RR интервал орасидаги вақт билан, яъни иккита R максимум орасидаги вақт билан ўлчанади ва 15, 30 ёки 60 сония оралиғидаги RR максимумлар ўлчаниб, ўртача юрак уриш тезлиги ҳисобланади. ЭКГ сигналининг натижаларига мос равишда инсонда аномалия ҳолатининг борлиги ёки йўқлиги таҳлил қилинади. Шунини таъкидлаб ўтиш жоизки, соғлом одамнинг юрак уриши деган тушунча нисбий тушунча ҳисобланади, бирор одамнинг юрак фаолияти эталон сифатида олинмайди. Чунки ҳар бир инсоннинг юрак фаолиятидаги қон-томир тизимларининг функционал ўзгаришлари бир-бириникидан фарқ қилади. Эталон юрак фаолияти ҳар бир инсон учун шифокор томонидан олинган ЭКГ маълумотлари натижаларига қараб тақдим этилади. Кейинчалик юрак фаолиятини ўзгаришларини билиш зарурати пайдо бўлган ҳолатда, янги олинган маълумотлар эталон ҳолат билан солиштирилади, агар эталонга мос келмаса аномалия деб баҳоланиши мумкин. Мисол учун, бродикардияси бор беморларнинг юрак уриши сониясига ўртача 100 мартага етса, уларнинг ҳаёти учун бу хавфли ҳолат ҳисобланади (спорт билан шуғулланувчилар учун бундай ҳолат хавфли саналмайди).



5-расм. ЭКГ сигналининг кўриниши

P - бўлмачалар деполяризацияси.

PR - атриовентрикуляр тугуни тугилиши.

QRS - қоринчалар деполяризацияси.

ST – қоринчалар бўшлиғини торайиши ва ичидаги қонни чиқиб кетиш вақти.

T - қоринчалар реполяризацияси.

PT – қоринчалар мускуллари бўшаши ва қоринчани қон билан тўлиш вақти.

U - қоринчалар реполяризациясининг давоми.

ФПГ усули билан солиштирилганида, ЭКГ усулида юрак фаолиятини мониторинг қилишнинг бир нечта афзалликлари билан бирга қатор камчиликларга ҳам эга:

- ЭКГ оний юрак фаолияти ҳақидаги маълумотларни тақдим этади, баъзи юрак хасталиклари бирор жисмоний фаолиятда ёки кучли тушкунлик натижасида ўзгаради, бошқа ҳолларда эса нормал ҳолатда бўлиши мумкин.
- Барча юрак касалликларини ЭКГ усули орқали аниқлаб бўлмайди. Аммо баъзи касалликлар борки улар, ЭКГ сигналида кўринмасида ўлимга олиб келувчи энг асосий юрак хасталикларидан бири хисобланади.
- Стресс ЭКГ тести ижобий натижани кўрсатиши учун юқори даражали стенозни талаб этади. Юқори даражали стеноз ривожланган ҳолат юрак касаллигининг энг асосий аломатидир; лекин бу юрак хуружига сабаб бўлувчи омил эмас.
- ЭКГ сенсорларини ФПГ каби доимий тақиб юриш айти вақтда ноқулай.

Гибрид электрокардиография ва фотоплетисмография усуллари. ЭКГ ва ФПГ усулларининг имкониятларини бирлаштирилган (гибрид) ҳолатда янги ечимлар ишлаб чиқиш билан мавжуд мониторинг усулларини янада такомиллаштириш мумкин [6]. Айти вақтда дунё миқёсида йирик ишлаб чиқарувчилардан бир бўлган Apple компанияси томондан ишлаб чиқарилаётган ақлли соатлар (smartwatch) гибрид сенсорларга асосланган ҳолда ишлаб чиқилмоқда. Бундай махсуслотлар фақат юрак уриш тезлигини ҳисоблайди ҳамда юрак қон фаолияти натижаси аниқланган аритмиядан огоҳлантиради. Ақлли соат фойдаланувчиси соат билан бирга сотиб олган портатив ЭКГ қурилмасини олиб, ЭКГ текширувини ўтказди. Бунинг учун кўрсаткич бармоқларини махсус электродлар устига бир неча сония (>15 сек) қўйиб керакли натижани олиш мумкин бўлади, яъни соғлиқ учун хавфли ҳолатлар ақлли соат томонидан огоҳлантирилади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, айти вақтда масофадан туриб юрак қон-томир тизимларининг функционал ўзгаришларини мосафадан туриб юқори аниқликда мониторинг қилиш учун албатта мавжуд технологияларни янада такомиллаштириш ёки янги тизимларни ишлаб чиқиш талаб этилади.

ФПГ+ЭКГ усуллари асосланиб янги ечимларни ишлаб чиқиш ва ҳаётга тадбиқ қилиш мумкин. ФПГ+ЭКГ усули айна вақтда юрак қон-томир фаолиятини масофадан мониторинг қилишдаги энг долзарб йўналиш сифатида ривожланмоқда.

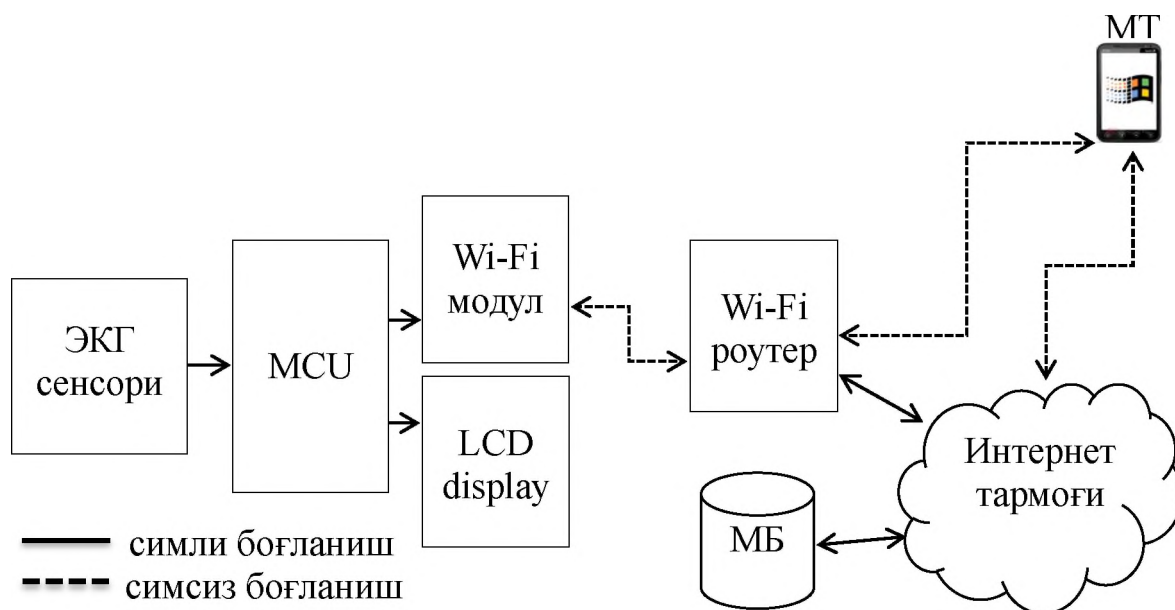
Маълумки, юрак қон-томир тизимларининг функционал ўзгаришларини масофадан туриб реал вақтда мониторинг қилиш учун турли йирик ишлаб чиқарувчилар томонидан турли таклифлар ишлаб чиқарилмоқда [7]. Одатда, бундай технологиялар ЭКГ, ФПГ ёки ЭКГ+ФПГ усулларига асосланган ҳолда ишлаб чиқарилади. Ишлаб чиқарувчилар томонидан таклиф этилаётган ечимлар тананинг турли нуқталари (бармоқ, билак, кўкрак қафаси, кулоқ, бош, оёқ ва ҳ.к.)дан оддий юрак уришини ҳисоблашдан тортиб, юрак уриши ҳолатига мос равишда маълум турдаги касалликларни аниқлаш, уларга ташҳис қўйиш ёки бошқа аломатларни муҳокама қилиш жараёнларини қўллаб қувватламоқда. Тақдим этилаётган бундай технологиялар мақсадли ишлаб чиқарилган бўлиб спорт фаолияти, маълум турдаги беморлар ёки ўзини-ўзи текшириб, юрак фаолиятдан хабар бўлувчилар учун махсус яратилган ва уларнинг имкониятлари, аниқлик даражаси, таннархи ва ўлчами бир-биридан фарқ қилади. Мавжуд мониторинг қилувчи қурилма ва дастурий таъминотларнинг аксарияти масофадан туриб юрак фаолиятини QRS усулида аниқлаш тизимига асосланган ҳолда ишлаб чиқилган, 4-расмда QRS комплекси текширувчи.

ЭКГ усулида олинган сигналдаги уч хил ўзгарувчи тўлқиннинг комбинацисига QRS комплекси номи берилган. Юқорида келтирилган 5-расмдан фарқли, QRS текширишда ЭКГнинг энг асосий Q, R ва S амплитудалари таҳлил қилинади. Бу турдаги текшириш жараёни орқали инсон юрагининг ўнг ва чап қоринча деполаризация ва катта қоринча мушакларининг қисрашига мос келувчи фаолиятлар таҳлил қилинади QRS усулида сигналнинг давомийлигини белгилаш мақсадга мос турлича бўлиши мумкин, масалан, катта ёшдагилар учун 0.06-0.10 сония, болалар ва спорт фаолияти давомида бу кўрсаткич қисқароқ вақтни ташкил этиши мумкин ва ҳ.к.



6-расм. ЭКГ сигналининг Q, R ва S параметрлари

Q, R ва S тўлқинлари тезкор кетма-кетликда содир бўлади ҳамда барча холлар учун Q, R ва S тўлқинлари бир вақтда кўринмаслиги мумкин ва битта ҳолатни ифодаловчи ходиса бўлганлиги сабабли одатда улар биргаликда муҳокама қилинади. QRS текширишда белгиланган давомийлик орқали юрак аритмияси, ўтказувчанлик аномалиялари, қоринча гипертрофияси, миокард хуружи, электролитларнинг бузилиши ва бошқа касалликларни диагностика қилиш мумкин. Шунингдек, юкланиши юқори бўлган жисмоний машғулотларда коронар артер касаллигини аниқлашда юқори частотали QRS таҳлили самарали усул ҳисобланади.



7-расм. ЭКГ сигналини масофадан мониторинг қилиш тизими

ЭКГ асосидаги сигналларга ишлов бериш ва масофадан мониторинг қилиш жараёнлари учун кўплаб тизимлар ишлаб чиқилган. Бундай тизимлар бир-биридан қўлланилган технологияси, сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари, кўлаб қувватлайдиган хизматлари ва фойдаланиш мақсадига кўра фарқ қилади. Ушбу мақолада ЭКГ сигналларини масофадан мониторинг қилиш тизимини ишлаб чиқиш (7-расм) мақсад қилинди. Ушбу тизим илмий тадқиқотга мўлжалланган тармоқ элементлари асосида ташқил этилган симсиз муҳитларда ЭКГ сигналларини масофадан мониторинг қилиш имкониятини қўлаб қувватлайди. Шунингдек, бу ечим мавжуд ечимларга қараганда арзон ва бир вақтнинг ўзида инсоннинг тана ҳароратини, ЭКГ сигнали ва O<sub>2</sub> миқдорини ҳисоблаш, мониторинг қилиш ва таҳлил қилиш имкониятини беради.

7-расмда келтирилган схемадан кўриниб турибдики, сенсордан олинган сигнал устида микроконтроллерда дастлабги рақамли ишлов бериш жараёни амалга оширилади ҳамда кейинги асосий жараёнлар кетма-кетлиги, масалан филтрлаш, мобил телефонида бажарилади. Wi-Fi модули орқали ишлов

берилган ЭКГ сигнали локал тармоғига уланган охирги терминалга ёки тармоқ маршрутизатори орқали интернет бўйлаб тизимга уланган фойдаланувчи терминалига узатилади. Ушбу тизимнинг ўзига хос жиҳати шундаки, фойдаланувчининг терминали қабул қилиб олинган ЭКГ сигналига талаб этилганида кўшимча ишлов бериши мумкин. Шунингдек, ишлов берилган сигнални реал вақт режимида маълумотлар базасида сақлаш ва ундан кейинчалик фойдаланиш мумкин ҳамда электрокардиограмма маълумотларининг таҳлилини амалга ошириш учун уларнинг тизимга уланган телешифокорга ҳам тақдим этиш мумкин.

### III. ХУЛОСА

ЭКГ сигналларни таҳлил қилиш орқали масофадан юрак касалликларини мониторинг қилиш ва уларга ташхис қўйиш учун дунёда кўплаб ечимлар тақдим этилмоқда. Ушбу мақолада асосан ЭКГ ва ФПГ усулларига асосланган мониторинг тизимларининг ишлаш принципи қисқача таҳлил қилинди. Таҳлилдан хулоса қилиш мумкинки, бугунги кунда оммалашиб бораётган портатив қурилмаларда мавжуд ЭКГ ва ФПГ усулларига асосланган мониторинг қилувчи иловалар асосан QRS текширишига асосланиб юрак уриш тезлигини, тана ҳароратини ва баъзи юрак касалликларини қисман мониторинг қилиш имкониятини қўллаб қувватлайди.

Юрак фаолиятида оғир муаммолари бўлмаган беморлар, спорт билан шуғулланувчилар ёки ҳаваскор фойдаланувчилар учун тақлиф этилаётган ечимлар жуда қулай ҳисобланади. Шу сабабли ҳам бу қурилмалар бугунги кунда асосан спортчилар орасида оммалашиб бормоқда. Шунингдек, беморлар учун ЭКГ ва ФПГ усулларига асосланган масофадан юрак касалликларини мониторинг қилиш тизимини яратиш жараёни хали якуний босқичда, яъни аниқлиги жиҳатидан шифокорларнинг талабига тўлиқ мос келмайди.

Бундан кўриниб турибдики, юрак фаолиятини белгиланган вақт давомида инсонларда юзага келадиган касалликларни масофадан мониторинг қилишни қулай, арзон ва ишончли усулини яратиш долзарб масалалардан ҳисобланади ва бу соҳада илмий изланишлар жадал суратларда олиб борилмоқда.

Ушбу тақлиф этилаётган тизим орқали Ўзбекистон шароитида масофадан баъзи юрак касалликларини мониторинг қилиш, уларга ташхис қўйиш имкониятини ишлаб чиқиш мумкин.

## АДАБИЁТЛАР

- [1] Rahul Krishnan, Vanaja, S., Manimegalai, S., Karunakaran, A. “A survey of contactless heart rate monitoring system” International Journal of Current Research, Vol. 9, Issue, 03, pp.48344-48348, , 2017.
- [2] John Allen “Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement” physiological measurement, pp. R1-R39, 2007.
- [3] Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M; Yoshida, M. “Wearable photoplethysmographic sensors—past and present.” J. Electron. pp. 282–302, 2014.
- [4] J. Webster, “Medical instrumentation: application and design” 4th ed. New York, NY, USA: Wiley, pp. 196–198, 2009.
- [5] Jarno M.A. “Independent component analysis in ECG signal processing, advances in electrocardiograms - methods and analysis”, pp 349-372, 2012.
- [6] Francesco Rundo, Sabrina Conoci, Alessandro Ortis and Sebastiano Battiato “An advanced bio-inspired photoplethysmography (PPG) and ECG pattern recognition system for medical assessment” Sensors, pp. 405-427, 2018.
- [7] Alexandros Pantelopoulos “A Survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis”, IEEE Transactions on systems man and cybernetics part C, pp. 1-12, 2010.