

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Мадихов Самғар Кайргалиұлы

«Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау
және модельдеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

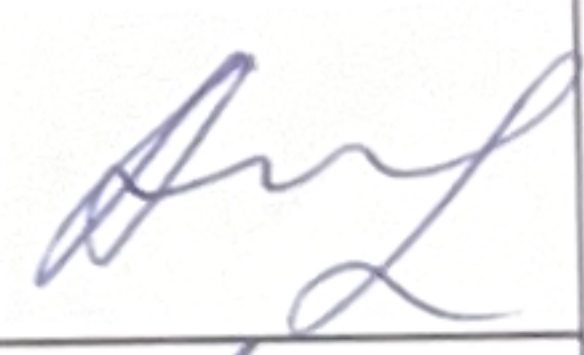
7М07107 – Робототехника және мехатроника

Алматы 2025

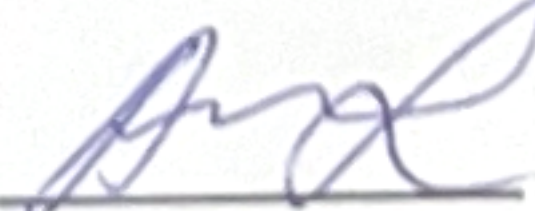
**Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Тобық буынының биомеханикасы мен оңалту процестерін зерттеу		Орындалды
Троспен басқару механизміне негізделген роботтық құрылғыны жобалау		Орындалды
Басқару алгоритмдерін әзірлеу және оңалту жаттығуларын автоматтандыру		Орындалды
Жобаланған роботтың жұмысын модельдеу және тәжірибелік сынақтар жүргізу		Орындалды
Қорытынды бөлім		Орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қытысты бөлімдердегі
диссертациялар кеңесшілері мен қалып бақылаушының
қолдары

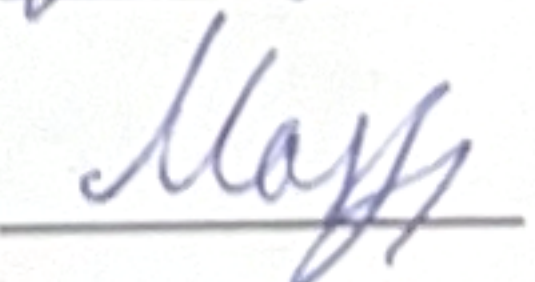
Бөлімдердің атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкеснің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Есептеу бөлім	Алимбаев Ш.А., ф-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, PhD доктор	11.06.2025	
Негізгі бөлім	Алимбаев Ш.А., ф-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, PhD доктор	11.06.2025	
Норма бақылаушы	Игембай Е.А, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы		

Ғылыми жетекшісі



Алимбаев Ш.А.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды



Мадихов С.К

Күні

« 11 » 06 2025 ж.

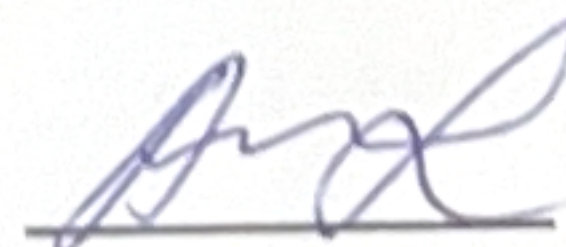
Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Тобық буынының биомеханикасы мен оңалту процестерін зерттеу		Орындалды
Троспен басқару механизміне негізделген роботтық құрылғыны жобалау		Орындалды
Басқару алгоритмдерін әзірлеу және оңалту жаттығуларын автоматтандыру		Орындалды
Жобаланған роботтың жұмысын модельдеу және тәжірибелік сынақтар жүргізу		Орындалды
Қорытынды бөлім		Орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қытысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен қалып бақылаушының қолдары

Бөлімдердің атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкеснің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Есептеу бөлім	Алимбаев Ш.А., ф-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, PhD доктор	11.06.2025	
Негізгі бөлім	Алимбаев Ш.А., ф-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, PhD доктор	11.06.2025	
Норма бақылаушы	Игембай Е.А, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы		

Ғылыми жетекшісі



Алимбаев Ш.А.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды



Мадихов С.К

Күні

« 11 » 06 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 665.622.43.046.6-52 (043)

Қолжазба құқығында

Мадихов Самғар Кайргалиұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ (ЖОБА)

Диссертацияның атауы Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған
роботты жобалау және модельдеу
Дайындау бағыты 7М07107 – Робототехника және мехатроника

Ғылыми жетекші
Физ.- мат.ғылым.
канд.,қауымдастырылған профессор, PhD доктор

 Алимбаев Ш.А.

«11» 06 2025 ж.

Рецензент
Плазма физикасы, нанотехнология және
компьютерлік физика кафедрасының
қауымдастырылған профессоры, PhD докторы

 Мұратов М.М.

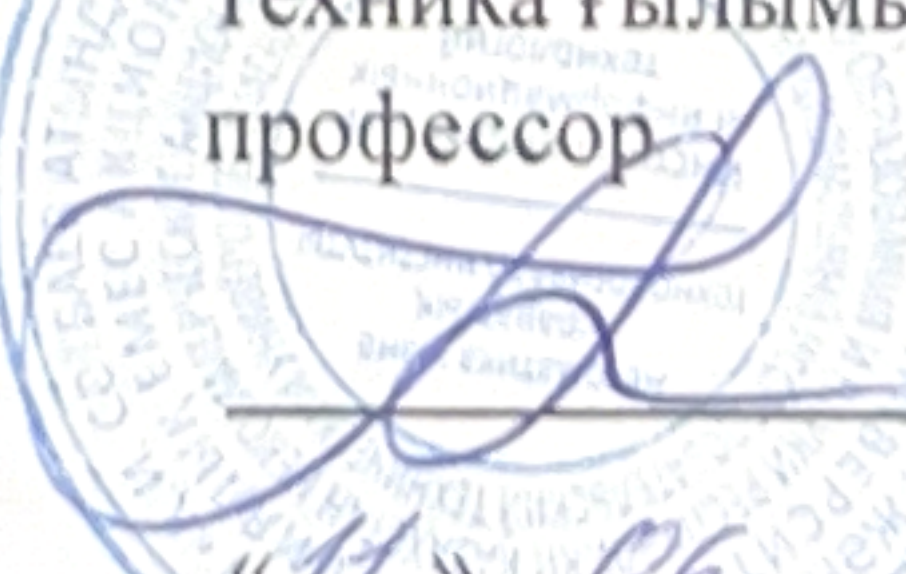
Норма бақылаушы
Тех. ғылым. маг., оқытушы,

 Игембай Е. А.

«__» ____ 2025 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі РТЖАТҚ
Техника ғылымының кандидаты,
профессор

 Қ.Ә. Өжікенов

«11» 06 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

7M07107 – Робототехника және мехатроника



Магистрлік диссертацияны орындауға арналған ТАПСЫРМА

Магистрант Мадихов Самғар Кайргалиұлы
Тақырыбы Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау
және модельдеу
Университет ректорының 2022 ж. « 25 » 03 № 430 - М бұйрығымен бекітілген
Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі « 02 » маусым 2025 ж.
Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері:
Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:
а) Тобық буынының биомеханикасы мен оңалту процестерін зерттеу
б) Троспен басқару механизміне негізделген роботтық құрылғыны жобалау
в) Басқару алгоритмдерін әзірлеу және оңалту жаттығуларын автоматтандыру
г) Жобаланған роботтың жұмысын модельдеу және тәжірибелік сынақтар жүргізу
Графикалық материалдың тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):
жұмыс презентациясы слайтарда 5 көрсетілген
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 2 әдебиеттер тізімі және 2 қосымша

АҢДАТПА

Бұл жұмыста біз адамдарға жарақаттан немесе операциядан кейін аяқтың қозғалғыштығын қалпына келтіруге көмектесетін арнайы робот жасаймыз. Мұндай робот, мысалы, сынуы, созылуы немесе инсульті бар адамдарға қажет.

Робот кабельдермен жұмыс істейді-бұл аяқты дәл және дәл жылжытатын арнайы сымдар. Бұл адамның өзі әлі аяғын жақсы қозғалта алмаған кезде емдік жаттығулар жасауға көмектеседі. Құрылғыны әр пациентке ыңғайлы және қауіпсіз етіп реттеуге болады.

Біз оның қалай жұмыс істейтінін ойлап таптық, есептеулер жасадық және оның қалай жұмыс істейтінін көру үшін компьютерде модель жасадық. Бұл ауруханалар мен оңалту орталықтары үшін сенімді және пайдалы роботты жинауға көмектеседі.

АННОТАЦИЯ

В этой работе мы разрабатываем специального робота, который помогает людям восстанавливать подвижность стопы после травм или операций. Такой робот нужен тем, у кого были, например, переломы, растяжения или инсульт.

Робот работает с помощью тросов — это такие специальные шнуры, которые двигают ногу аккуратно и точно. Он помогает делать лечебные упражнения, когда человек сам ещё не может хорошо двигать ногой. Устройство можно настраивать под каждого пациента, чтобы всё было удобно и безопасно.

Мы придумали, как он будет устроен, сделали расчёты и создали модель на компьютере, чтобы посмотреть, как он будет работать. Это поможет собрать надёжного и полезного робота для больниц и реабилитационных центров.

ANNOTATION

In this work, we are developing a special robot that helps people regain foot mobility after injury or surgery. Such a robot is needed by those who have had, for example, fractures, sprains or a stroke.

The robot works with cables — these are special cords that move the foot carefully and precisely. It helps to do therapeutic exercises when a person himself is still unable to move his leg well. The device can be customized for each patient to make everything comfortable and safe.

We figured out how it would work, made calculations, and created a computer model to see how it would work. This will help to assemble a reliable and useful robot for hospitals and rehabilitation centers.

ҚАБЫЛДАНҒАН ҚЫСҚАРТУЛАР ТЕРМИНДЕРІ ТІЗІМІ

Қысқарту	Толық атауы
ТБОР	Тобық буынын оңалту роботы
ЭКГ	Электрокардиограмма
ЭМГ	Электромиограмма
ИҚЖ	Икемді кабельдік жүйе
ДҚ	Дорсифлексия қозғалысы
ПҚ	Плантарфлексия қозғалысы
MCU	Микроконтроллерлік басқару блогы (мыс., Arduino, STM32)
PWM	Pulse Width Modulation, Импульстік ендік модуляция
3D ПБ	3D-принтермен басып шығарылған бөлшек
CAD	Computer-Aided Design, Компьютерлік жобалау жүйесі
ROM	Range of Motion, Қозғалыс амплитудасы
CPM	Continuous Passive Motion, Үздіксіз пассивті қозғалыс
HMI	Human-Machine Interface, Адам-машина интерфейсі

Мазмұны

КІРІСПЕ	10
1 Троспен басқарылатын тобық буынын оңалту роботын жобалау және модельдеу	11
1.1 Жобаның маңыздылығы мен қолдану аясы	11
1.2 Жобаның қарастыратын мәселелері мен өзектілігі	12
1.3 Әдеби шолу және өзге модельдерді талдау	16
1.4 Оңалтуға арналған параллель робот манипуляторларына шолу	24
2 Оңалтуды қажет ететін тобық жарақаттары мен ауруларының анатомиясы	30
2.1 Анатомиялық шолу және жарақаттар түрі	30
2.2 Тобық бойынша эксперименттік есептеулер	32
2.3 Тобықты қалпына келтіруге арналған роботты құрылғыны жасау қадамдары	35
3 Оңалту роботының толық моделінің жұмыс жасау принциптері	37
3.1 Кинематикалық және динамикалық моделдеу	37
3.2 Техникалық шешім сипаттамасы және негізгі құрылымдық элементтер	39
3.3 Құрылғының ерекшеліктері мен техникалық шолу	40
3.4 Сервокозғалтқыш таңдау	43
3.5 Микроконтроллер талдау	46
4 Оңалтуға арналған роботтың бағдарламалық баптауы	52
4.1 Arduino IDE бағдарламалық жабдықтамасы	52
4.2 Жүйенің функционалды бөлімі	55
4.3 Болашақ даму бағыттары	57
ҚОРЫТЫНДЫ	58
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	59
А қосымшасы	60

КІРІСПЕ

Қазіргі технологиялар мен медицина әлемінде денсаулық сақтау сапасын жақсарту үшін біздің өмірімізге инновациялық шешімдер әкелетін керемет қарқынмен дамып келеді. Тобықты қалпына келтіру контекстінде адам ағзасының осы өте маңызды бөлігінің функционалдығын тиімді қалпына келтіруге мүмкіндік беретін робототехниканың интеграциясы маңызды болып табылады.

Кабельмен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу-бұл инновация процесінің қызықты кезеңі. Мұндай робот пациенттер мен дәрігерлерге оңалту жаттығуларында қолдау мен тиімділіктің жаңа деңгейін ұсына алады.

Кабельмен басқарылатын роботтың идеясы-оңалту жаттығулары кезінде науқастың тобық қозғалысын дәл басқара алатын механизм құру. Бұл механизм озық технологиялар мен алгоритмдерге сүйене отырып, әр пациенттің жеке қажеттіліктеріне бейімделе алады, қолдау мен ынталандырудың оңтайлы деңгейін қамтамасыз етеді.

Мұндай роботты тобықты қалпына келтіру процесіне енгізу емдеу нәтижелерін айтарлықтай жақсартуға уәде береді. Ол қалпына келтіру процесін жылдамдату және асқыну қаупін азайту арқылы дәлірек және бақыланатын қозғалысты ұсына алады. Икемділігі мен икемділігінің арқасында мұндай робот жарақаттың әртүрлі деңгейлеріне немесе қозғалыс шектеулерінің дәрежесіне бейімделіп, оны медицина мамандарының қолында құнды құралға айналдыра алады.

Кабельмен басқарылатын Тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу медициналық технологияның жаңа көкжиектерін ашады, бұл оңалтуды тиімдірек, қол жетімді және әр пациент үшін жекелендіруге мүмкіндік береді.

Кабельмен басқарылатын роботты Тобықты қалпына келтіруде қолдану жарақаттар мен патологиялардың осы түрін емдеу тәсілін өзгертуге мүмкіндігі бар. Пациенттің қозғалысы мен барысы туралы деректерді бақылау және талдау мүмкіндігі арқылы мұндай робот оңалту бағдарламаларын дәлірек және жекелендірілген жоспарлауды қамтамасыз ете алады.

Заманауи жасанды интеллект және машиналық оқыту жүйелерімен интеграциялану арқылы робот пациенттің жағдайы мен оның үлгерімі туралы мәліметтерге сүйене отырып, нақты уақыттағы жұмыс режимдерін бейімдей алады. Бұл қалпына келтірудің оңтайлы жағдайларын қамтамасыз ете отырып, жаттығу кезінде шамадан тыс жүктеме немесе жеткіліксіз жүктеме қаупін азайтуға мүмкіндік береді.

Мұндай роботтарды телемедицина жүйелеріне біріктіруге болады, бұл клиникалық ортадан тыс пациенттерді қашықтан бақылау және қолдау мүмкіндіктерін ашады.

1 Троспен басқарылатын тобық буынын оңалту роботын жобалау және модельдеу

1.1 Жобаның маңыздылығы мен қолдану аясы

Бұл жобаның негізгі маңыздылығы қозғалыс функциялары бұзылған адамдардың (мысалы, инсульт алған немесе аяқ-қол жарақатынан кейінгі) оңалту үдерісін жеңілдету және жеделдету. Әсіресе тобық буыны секілді күрделі әрі нәзік құрылымды буындардың жұмысын қалпына келтіру — ұзақ уақыт пен кәсіби емді қажет ететін процесс. Осы құрылғы арқылы ерте оңалту кезеңінде пациенттің қозғалыс көлемін, бұлшықет белсенділігін және моторлық дағдыларын қауіпсіз түрде дамытуға болады. Жүйенің портативті және автоматты жұмыс істеуі оны үй жағдайында да қолдануға мүмкіндік береді, бұл медициналық мекемелердегі жүктемені азайтады және пациентке қолжетімділікті арттырады.

Қолдану аясы өте кең: құрылғыны реабилитациялық орталықтарда, үй жағдайындағы физиотерапияда, спорттық жарақаттардан кейін қалпына келтіруде, сондай-ақ неврологиялық ауруларды емдеуде тиімді пайдалануға болады. Сонымен қатар, бұл жобаны техникалық колледждерде, жоғары оқу орындарында оқыту құралы ретінде қолдануға болады себебі ол робототехника, биомедицина, бағдарламалау және 3D технологияларын біріктіреді. Бұл бағыттағы құрылғылардың қолжетімділігі мен қолайлы бағасы медициналық технологиялар саласындағы маңызды қадамдардың бірі болып табылады.

Бұл жобаның ерекшелігі ықшамдылығы, модульдік құрылымы және қолжетімді компоненттерге негізделуі. Құрылғыны жинауға қажетті бөлшектердің көпшілігі ашық нарықта бар (Arduino, сервомотор, LCD, 3D басып шығарылатын бөлшектер), сондықтан оны аз шығынмен және үй жағдайында да жасауға болады. Бұл – әсіресе ауылдық жерлерде немесе медициналық жабдықтары шектеулі емханаларда оңалту шараларын ұйымдастыруға үлкен мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жобаның программалық бөлігі ашық және икемді болғандықтан, болашақта жаңа функциялар (мысалы, сымсыз басқару, датчиктер арқылы бақылау) енгізуге толық мүмкіндік бар.[1]

Құрылғыны пайдалану оңай әрі пациентке бейімделген. Оны жаттығуға дайын пациентке тез орнатып, белсенді емес бұлшықет топтарын пассивті түрде қозғалтуға мүмкіндік береді, бұл бұлшықет атрофиясының алдын алып, қан айналымын жақсартады. Жүйе әрбір қозғалысты санап, бұрыштық мәліметтерді дисплейге шығаратындықтан, пациент пен медицина қызметкері оңалту барысын нақты бағалай алады. Бұл кері байланыс пациентті ынталандырып, емнің тиімділігін арттырады.

Жоба әрі қарай дамытылып, ақылды жүйеге айналуы мүмкін: мысалы, бұлшықет сигналдары (ЭМГ), қысым датчиктері немесе кері байланыс арқылы қозғалыс деңгейін автоматты түрде реттеу. Сондай-ақ, қолданбалы бағдарлама

(мобильді қосымша) арқылы науқастың жаттығу нәтижесін онлайн бақылауға да болады. Мұндай мүмкіндіктер жобаның тек прототип ретінде ғана емес, коммерциялық өнім ретінде де болашағы бар екенін көрсетеді. Сонымен қатар, бұл жүйе инклюзивті білім беру, арнайы орталықтар және қарттар үйлеріндегі оңалту процесін цифрландыруға нақты үлес қоса алады.

1.2 Жобаның қарастыратын мәселелері мен өзектілігі

Қазақстанда жыл сайын 600 мыңнан астам жарақат тіркеледі, олардың 20% - ы балаларға тиесілі. Терезеден құлау, суға бату, балалар алаңдары мен спорт секцияларындағы жазатайым оқиғалар нәтижесінде. Басты міндет-мұндай оқиғалардың санын азайту үшін балалардың өзін-өзі сақтау дағдыларын дамыту.

"Kompetenz" СК ақпараттық-талдау орталығының деректеріне сәйкес, оқушылар әртүрлі жарақат түрлерін бақылайды: биіктіктен құлау, тұрмыстық күйік, жол-көлік оқиғалары. Бұл жағдайда ұлдар қыздарға қарағанда 2-3 есе аз жарақат алады. Маусымдық сабаққа қатысу да байқалады: көктемде мектеп (41%), тұрмыстық (36%) және көше (21%) жарақаттары өзгереді, ал жазда спорттық жарақаттар саны артады (40% дейін).

Спорт секцияларында орын алатын ерекше қате жазатайым оқиғалар. Статистика көрсеткендей, 14 жасқа дейінгі балалар жекпе – жек өнері (бокс, дзюдо, каратэ, самбо) - барлық жағдайлардың 37,8%. Одан кейін футбол (14%), жеңіл атлетика және гимнастика (11%), жүзу (10,5%). Гимнастика және жүзу сияқты өте қауіпсіз спорт түрлерінде де жарақат алу қаупі жоғары болып қала беретінін ескеру маңызды. Бұл залдардың қауіпсіздігін және мұқият болуын қатаң бақылау қажеттілігін көрсетеді.

2014-2018 жылдардағы медициналық өтініштерді талдау көрсеткендей, аяқтар жиі жарақат алады: тобық пен аяқтың құрамы – 29% (сынықтар, шығулар, созылу, бұлшықет және құрғақ зақымданулар), тізе мен төменгі аяқ – 21%. Жарақаттар мен кисталар 9,1%, шынтак пен ұсыныстар 8,5%, жамбас пен жамбас 8,5% құрайды. Кеуде қуысының, бастың және қоңырау белгілерінің ұлғаюы режимде кездеседі (2%), бірақ олардың салдары ең тартымды болуы мүмкін. Жалпы алғанда, балалық шақтағы жарақаттардың жартысынан көбі төменгі жағында, ал сыну барлық бұзылулардың 14% құрайды.[2]

Балалардың жоғары жарақаттануының негізгі себебі-ересектердің бақылауының жеткіліксіздігі. Балалар белсенді және ізденімпаз бола отырып, сатқындық дәрежесін әрдайым бағалай алмайды, ал ата-аналар, тәрбиешілер мен жаттықтырушылар бәрін біркелкі пайдалана алмайды. Бұл қайғылы жағдайларға әкеледі: терезелерден құлау, өзендерге, арықтарға, су ыдыстарына, сондай-ақ көшедегі дәретханаларға Бату. Себепсіз балалар болып қалатын ересектердің қарапайым немқұрайлылығы шындыққа жанаспайды.

Жылдан жылға балалар жарақаттарының статистикасы дәл емес, бұл тиімді алдын алу шараларын әзірлеу қажеттілігін көрсетеді. Дені сау балалардың пікірінше, жоғары жарақаттану елдің денсаулық сақтау жүйесі мен бюджетіне қосымша ауыртпалық туғызады. Қауіпсіздік бойынша білім беру бағдарламаларын қосу, спортпен шұғылдануға арналған қорғаныс құралдарын ұлғайту, сондай-ақ ата-аналар мен педагогтардың балалардың қауіпсіздігі үшін жауапкершілігін арттыру қажет. Тек кешенді тәсіл уақыт өте келе қанағаттанарлықсыз жазатайым оқиғалардың деңгейін төмендетуге және өскелең ұрпақты ықтимал қорқыныштан қорғауға көмектеседі. Адамның қозғалу қабілетінде тобық буыны маңызды рөл атқарады. Бұл буын тепе-теңдікті сақтау, жүру, жүгіру және секіру кезінде қозғалыстарды қамтамасыз етеді. Тобықтың әлсіздігі немесе дисфункциясы жүру кезінде аяқтың дұрыс орналасуын бұзады, нәтижесінде тепе-теңдік, құлау және қайталама жарақаттар пайда болады. Сондықтан тобық функциясын қалпына келтіру пациенттің жалпы өмір сүру сапасын жақсартудағы басты міндеттердің бірі болып табылады.[3]

1.4-суретте көрсетілгендей, дәстүрлі физиотерапиялық оңалту әдістері жоғары тиімділікке ие болғанымен, олар өте ұзақ уақыт пен үздіксіз маманның қатысуын қажет етеді. Сонымен қатар, физиотерапевттердің жұмыс күшіне тәуелділік пациенттердің үздіксіз және қарқынды жаттығулар алуын шектейді. Бұл оңалту процесінің қарқынын төмендетеді және нәтижеге жету уақытын ұзартады.

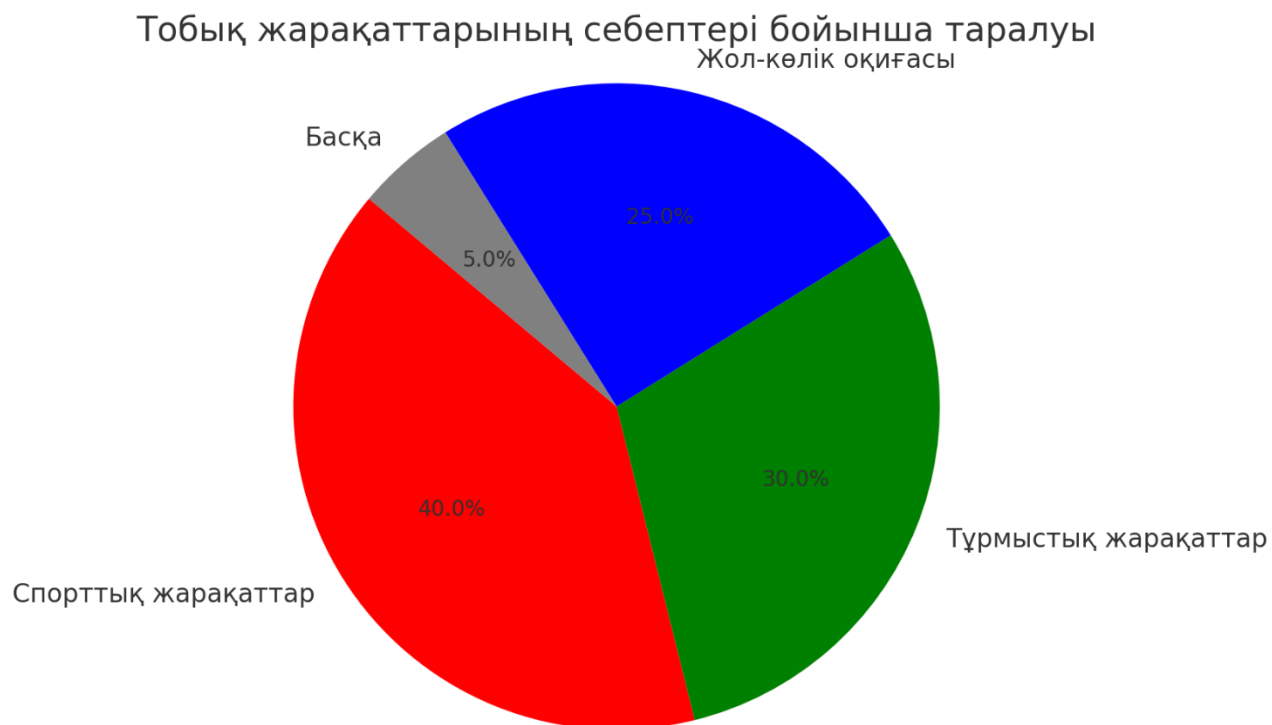
Соңғы жылдары медициналық робототехниканың дамуы оңалту терапиясына жаңа мүмкіндіктер ашты. Автоматтандырылған реабилитациялық құрылғылар, әсіресе, параллель робот манипуляторлар мен экзоскелеттер, терапияны жүйелілікпен және жоғары дәлдікпен орындауға мүмкіндік береді. Бұл құрылғылар жаттығуларды ұзақ уақыт бойы қайталауға, нақты траекторияларды бақылауға және науқастың физиологиялық өзгерістеріне бейімделуге қабілетті.

1.1 суретке сәйкес, тобық буынының реабилитациясына арналған сервожетекті ортез жобасы осындай заманауи талаптарға толық сәйкес келеді. Оның көмегімен қозғалыс ауқымын қалпына келтіру, бұлшықеттердің күшін арттыру және динамикалық тепе-теңдікті жақсарту мүмкіндігі пайда болады. Сервоқозғалтқыш пен леска механизмі негізінде жұмыс істейтін құрылғы пациенттің табанын белгілі бір бұрышпен көтеріп, жүйелі және дәл қозғалыстарды қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде орталық жүйке жүйесін белсенді ынталандырып, нейропластикалық процестерді жылдамдатады.

Сондай-ақ, 1.2-суреттегі сервожетекті ортез арқылы реабилитация процесін дербестендіруге болады. Пациенттің жағдайына қарай сервоқозғалтқыштың тарту күші, қозғалыс жылдамдығы және амплитудасы реттеледі. Бұл әр пациентке жеке оңалту бағдарламасын жасауға мүмкіндік береді.

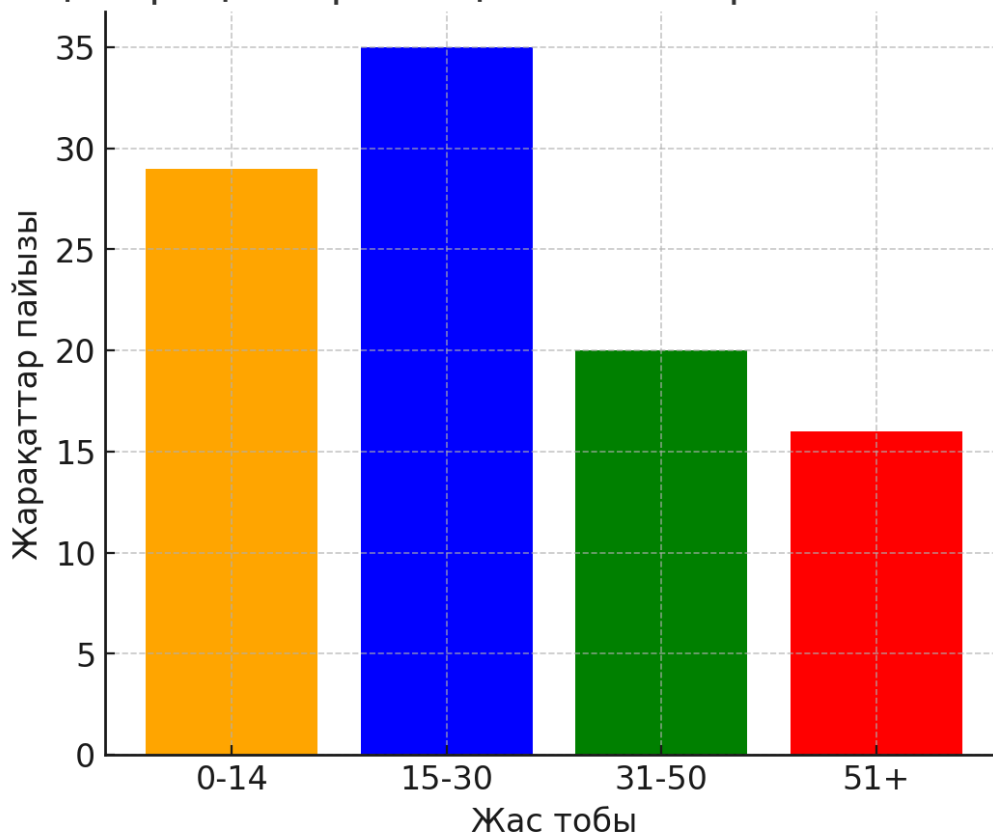
Жоғарыда айтылған барлық факторларды ескере отырып, тобық буынының дисфункциясын емдеуде сервожетекті ортез құрылғысының

өзектілігі өте жоғары деп есептеледі. Бұл құрылғы медициналық оңалтуды заманауи талаптарға сай автоматтандыруға және пациенттердің қалпына келу процесін жылдамдатуға мүмкіндік береді.[5]

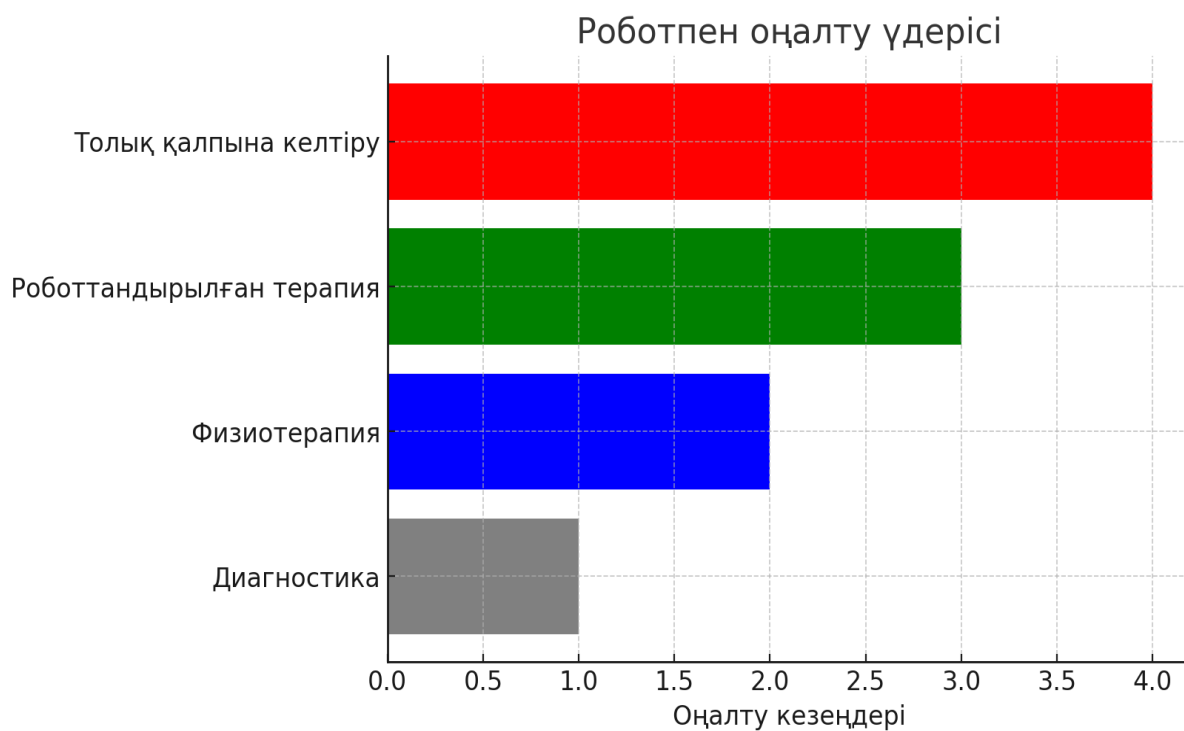


1.1-сурет - Тобық жарақаттарының себептерін бөлу

Тобық жарақаттарының жас топтары бойынша жиілігі

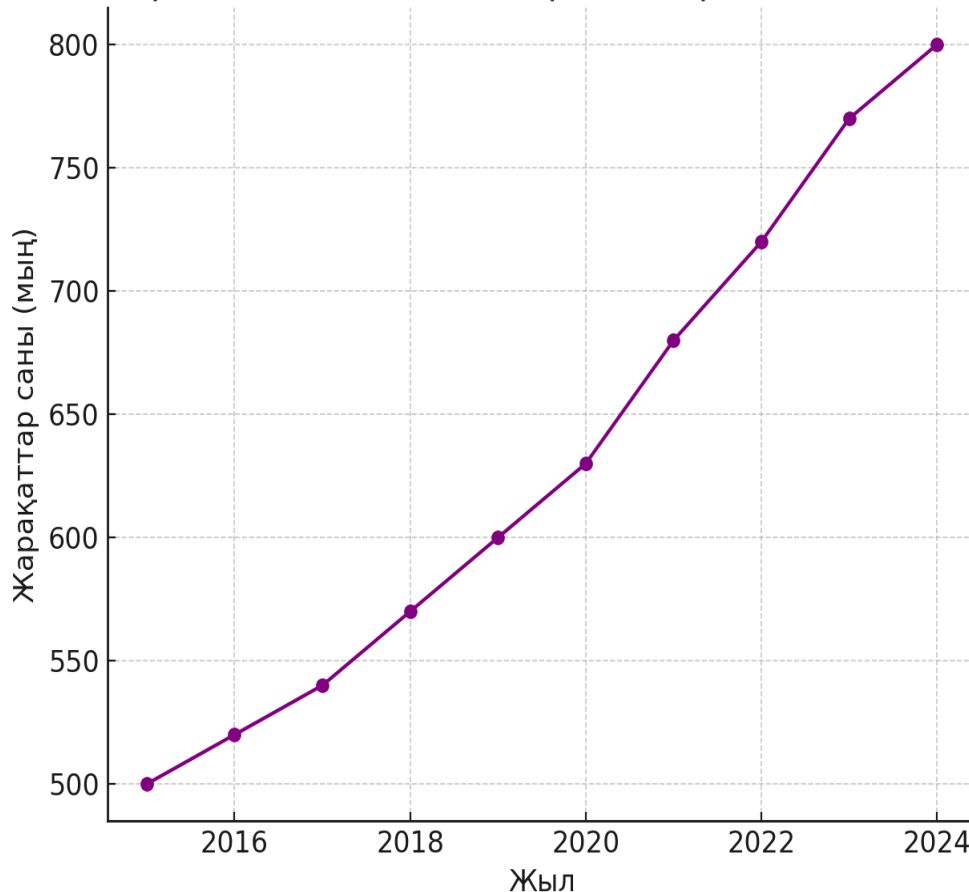


1.2-сурет - Жас топтары бойынша тобық жарақаттарының жиілігі



1.3-сурет - Роботпен оңалту процесі

Жылдар бойынша тобық жарақаттарының динамикасы



1.4-сурет – Жылдар бойынша тобық жарақаттарының динамикасы

1.3 Әдеби шолу және өзге модельдерді талдау

1.5 суреттегі ОРМЕД FLEX-02 аппараты – тобық буынының механотерапиясын жүргізуге, сондай-ақ жарақаттардан, сынықтардан кейінгі асқынулардың алдын алуға, буын ауруларын емдегеннен кейінгі кезеңде, ұзақ иммобилизациядан кейінгі асқынуларды болдырмауға, хирургиялық араласудан кейін буындардың қозғалғыштығын қалпына келтіруге арналған. Бұл аппарат тез әрі ауыртпалықсыз қалпына келуге мүмкіндік беретін медициналық құрал болып табылады. Ол ерте кезеңдерде буын қозғалғыштығын ауыртпалықсыз қалпына келтіруге, ұзақ уақыт бойы қозғалыссыз қалудың (иммобилизация) салдарынан туындайтын түрлі асқынуларды жоюға, сондай-ақ тобық буынының жарақаттан кейінгі қалпына келуіне арналған. Аппараттың баптаулары науқастың жекелеген реабилитациялық параметрлерін орнатуға мүмкіндік береді. Аппарат әмбебап болып табылады. Өндіруші – Ресей, «ОРМЕД» [5].

Аппарат келесі мақсаттарда қолданылады:

- эмболияның, тромбоздардың және буын қозғалыссыздығының алдын алу;
- шеміршек аймақтарының жазылуы мен қалпына келуі;

- эндопротездеуден кейінгі операциядан кейінгі кезеңдегі реабилитация;
- түрлі жарақаттардан, сынықтардан және остеосинтезден кейінгі қалпына келу;
- әртүрлі шығу тегі бар контрактулар, оның ішінде жарақаттық (күйіктік);
- буынға жасалған операциялар мен соққыдан кейінгі реабилитация.

Техникалық сипаттамалары:

- Табанға бүгу – 50°
- Артқа (дорсальды) бүгу – 40°
- Пронация – 20°
- Супинация – 40°
- А және В моторлары үшін бүгу мен жазу жылдамдығын реттеу ауқымы: 5%–100%
- Жылдамдықты реттеу қадамы, ең көбі: 5%
- Габариттік өлшемдері (ұзындығы, ені, биіктігі), мм: 900×550×700 аспауы тиіс
- Салмағы: 25 кг аспауы тиіс



1.5-сурет - ОРМЕД FLEX 02

1.6-суретке сәйкес, А3 ankle CPM аппаратының көмегімен (1.5-сурет) тобық пен субтаран буындарының қозғалысы қамтамасыз етіледі. Қозғалысты реттеудің толық диапазоны сыртқы немесе ішкі инверсияны, табан немесе дорсифлексияны қолдануға және екі әдісті біріктіруге мүмкіндік береді. Реттелетін жұмсақ бұйымдар, соның ішінде ортопедиялық аяқ киім пациенттерге емдеудің оңтайлы нәтижелерін де, жоғары жайлылықты да қамтамасыз ете отырып, сәйкестікті реттеуге мүмкіндік береді. Науқастың қауіпсіздігі үшін құрылғыда "reverse-on-Load" функциясы қолданылады, бұл пациенттің бұлшықет жүйесі құрылғының жұмысына кедергі келтіретін және

құрылғының қозғалысы қиын болған жағдайда жүктеме бағытын өзгертуге мүмкіндік береді. Кері жүктеме кезіндегі қауіпсіздік функциясы, егер пациент қозғалысқа кедергі келтірсе, аппараттың қозғалыс бағытын өзгертуін қамтамасыз етеді. Өндіруші-Канада, "Ремингтон" [6].

Қолдану көрсеткіштері:

- артротомия;
- тұрақты сынықтар;
- синовэктомия;
- артропластика;
- сүйектерге, шеміршектерге, сіңірлерге және байламдарға реконструктивті хирургия;
- буындардың ұзақ иммобилизациясы;- жарақаттан кейінгі қаттылыққа байланысты ахилла сіңірінің хирургиялық созылуы.



1.6-сурет - A3 Ankle CPM оңалту аппараты

Техникалық сипаттамалары:

- плантарлы иілу: 0-ден 60° - қа дейін;
- дорсифлексия: 0-ден 60° - қа дейін;
- инверсия: 0-ден 60° - қа дейін;
- эверсия: 0-ден 60° - қа дейін;
- қайта зарядталатын батарея (батареяның қызмет ету мерзімі 10-12 сағат).
- өлшемдері - 42,3 см x 48,3 см x 33 см.;
- салмағы-4,5 кг.

Kinetec breva оңалту құралы тобық пен артқы аяқтың қозғалысын реттеуге мүмкіндік береді. Құрылғы аяқтың анатомиялық дұрыс қозғалысын қамтамасыз етеді. Оны төсекте немесе орындықта отырғанда қолдануға болады.

Қозғалыстың екі нұсқасы мүмкін: плантар - дорсальды бүктеме, эверсия-инверсия. Сандық қашықтан басқару пульті пациенттің кері байланысын қамтамасыз етеді, сонымен қатар Тобықты жылыту сияқты функцияларды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Қашықтан басқару пульті дұрыс пайдаланбауды болдырмайтын және пациенттің қауіпсіздігін арттыратын пернетақтаны құлыптау жүйесімен жабдықталған. Өндіруші-Ресей, " Breva " [8].

Kinetec breva anklespm аппаратын қолдану көрсеткіштері:

- Ішкі фиксациясы бар келесі сынықтар кезіндегі пассивті ұтқырлық:
- тобық сынуы;
- ішкі және жоғарғы тобықтардың жіліншік сынуы;
- талдың сынуы;
- өкшенің сынуы.
- Зақымдануды хирургиялық немесе консервативті емдеуден кейін аяқтың буындарын жұмылдыру:

- өкше сіңірі;
- бүйірлік кепілдік байламы;
- ортаңғы коллатеральды байлам;
- птсд кезінде өкше сіңірінің хирургиялық созылуы.

Kinetecbrevaankle CPM аппаратының жұмыс режимдері:

- жылыту;
- модуляция;
- ROM-ны айналып өту жұмысы;
- уақыт бойынша жұмыс;

16 таңдамалы бағдарламаның бірі бойынша жұмыс. Техникалық сипаттамалары:

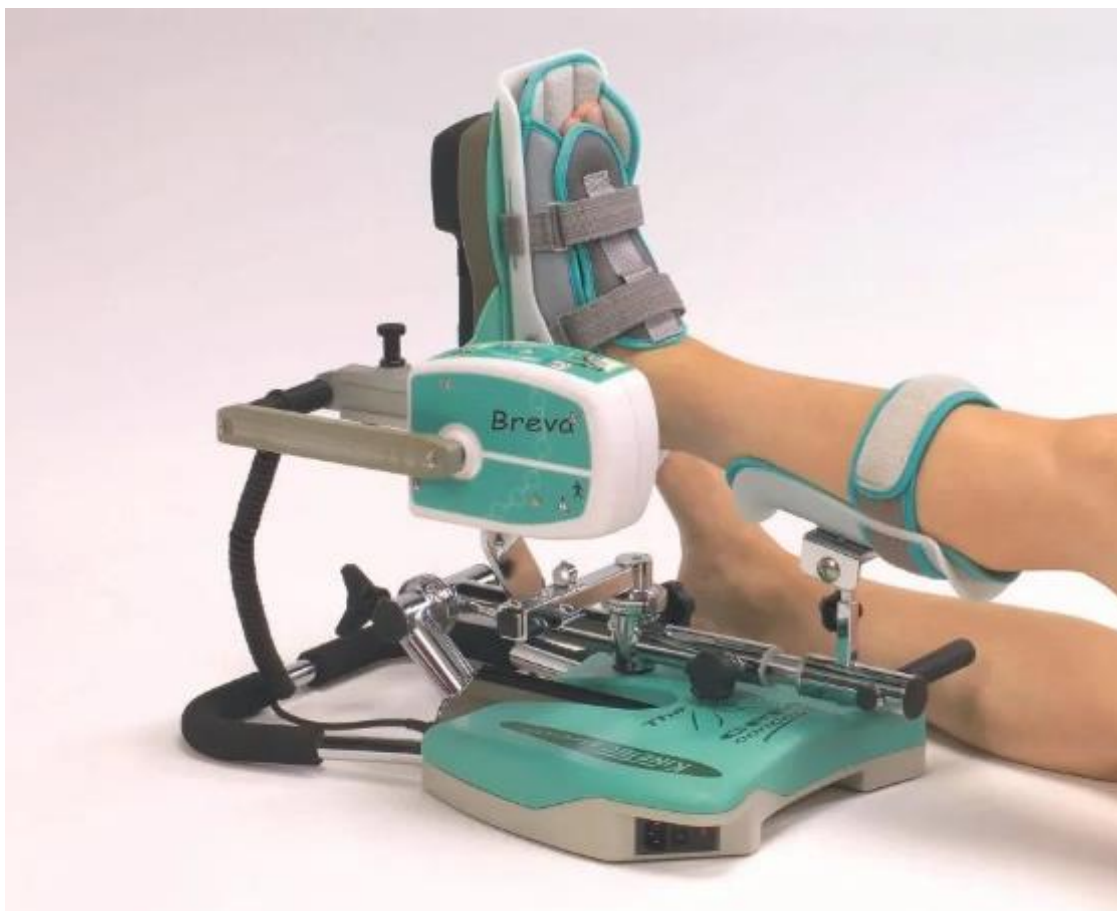
- салмағы: 12,5 кг;
- өлшемдері(ДхШхВ): 560 x 370 x 450 мм;
- электр қуаты: 220В, 50ВА;
- табан иілуінен-40° - тан дорсифлексияға дейін - 30°;
- эверсиядан-25° - тан инверсияға дейін-25°.

1.7 суреттегі ARTROMOT SP3 оңалту аппаратын (1.7-сурет) Тобықты оңалтудың ең жылдам әсеріне қол жеткізу үшін қалпына келтірудің бастапқы кезеңінде қолдану ұсынылады. Басқару пультінің көмегімен тренажер пациенттің анатомиялық ерекшеліктерін ескере отырып, жеке реттеледі. ARTROMOT SP3 буындардың физиологиялық дұрыс қозғалу механизмдерін реттейтін халықаралық Р№ хаттамасына сәйкес келеді. Тренажерді диванға отыру немесе жату кезінде пайдалану ұсынылады. Құрылғылар ересектерге де, алты жастан бастап балаларға да арналған, бойы 110 см. өндіруші - "ARTROMOT" компаниясы, ГФР [7].

Техникалық сипаттамалары:

- 50°/0°/40°плантарлы иілу;
- инверсия / Эверсия 40° / 0° / 20°;
- 5-100 жылдамдығы%;

- пациенттің қауіпсіздігі үшін (А және В қозғалтқышы) 1-25 жүктемеге кері;
- салмағы: 11 кг;
- өлшемдері: 780 x 420 x 395 мм.



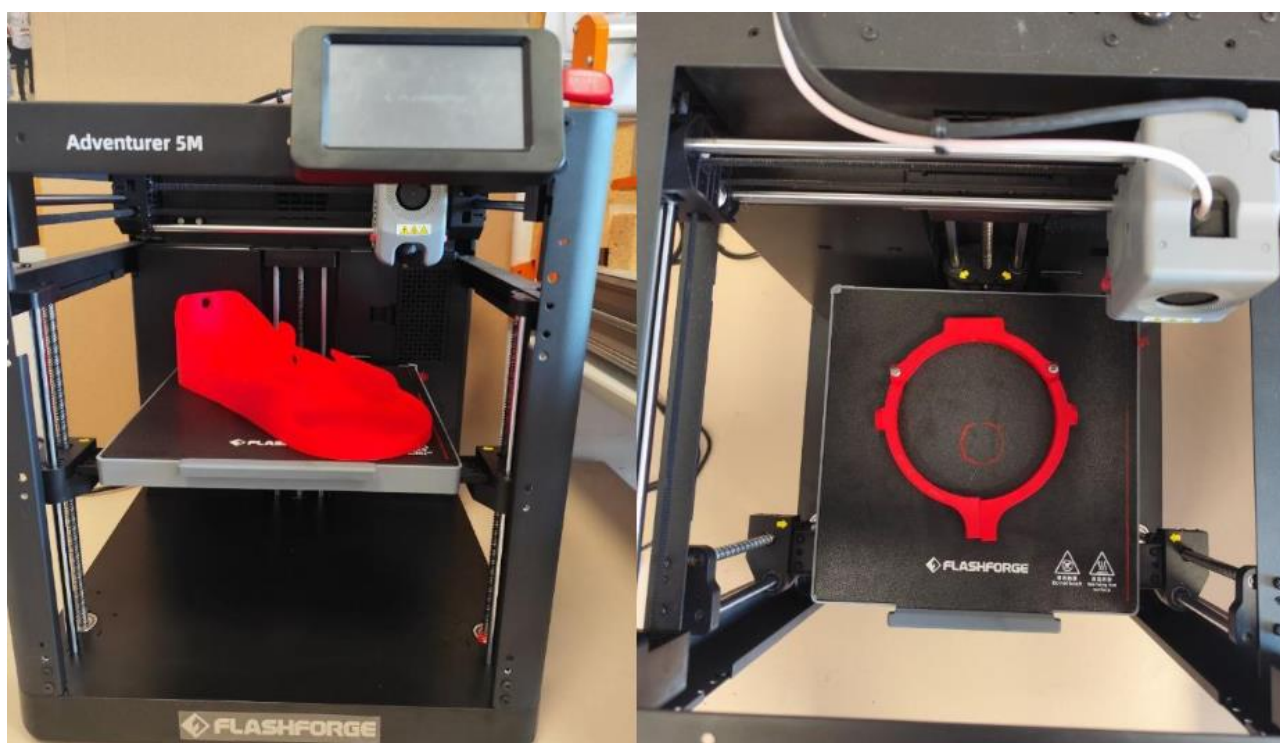
1.7-сурет - KinetecBreviaAnkle CPM

Тағы бір Алматылық оңайтылуға арналаған құрылғы - Almaty Ankle Exoskeleton V.2. Экзоскелеттегі шарнирлік қосылыстар тобық буынының табиғи қозғалыс үлгісін дәл қайталауға мүмкіндік беріп, жетек жүйесі мен табан платформасы арасындағы қозғалыстың бірқалыптылығын қамтамасыз етеді. Жүйенің модульдік құрылымы құрылғыны жеңіл, ыңғайлы әрі пайдалануға оңай етеді. Бұл экзоскелет реабилитация процесін тиімді жүргізуге арналған, ал оның жоғары дәлдігі мен функционалдық мүмкіндіктері пациенттің қозғалу қабілетін қалпына келтіруді жеңілдетеді.

1.8 суретте тобық буынына арналған экзоскелеттің екі басты элементі табан платформасы (сол жақта) мен балтыр платформасы (оң жақта) көрсетілген. Табан платформасы анатомиялық пішінге сай жасалып, пайдаланушының аяғына дәл сәйкестендіріледі. Ол аяқтың тұрақты орналасуын қамтамасыз етіп, оңалту кезінде сенімділікті арттырады. Платформа PLA материалынан дайындалған, бұл материалдың жеңілдігі мен беріктігі реабилитациялық құрылғылар үшін аса қолайлы.

Балтыр платформасы балтырдың төменгі бөлігіне тірек ретінде орналасады және әртүрлі аяқ өлшемдеріне бейімделе алады. Бұл компонент балтырды сенімді ұстап тұруға мүмкіндік береді.

Аталған платформалар Flash Forge Adventure 5 3D-принтерімен дайындалған. 3D басып шығару технологиясы жоғары дәлдікті қамтамасыз етіп, құрылғының сенімділігі мен ұзақ уақыт пайдалануға жарамдылығын арттырады. PLA материалы құрылғының беріктігі мен оңалту барысындағы тұрақтылығына жауап береді. Жобалау барысында пайдаланушының жайлылығы мен құрылғыны ұзақ мерзім қолдану мүмкіндігі басты назарға алынып, эргономикалық шешімдер мен сапалы материалдар таңдалды.



1.8-сурет – 3д басып шығару

Төмендегі 1.9-суретте экзоскелеттің сызықтық электр жетегі (линейный актуатор) және оның екі шетіне жалғанған қосымша элементтер бейнеленген. Бұл компоненттер табан және балтыр платформаларын өзара байланыстырып, қозғалыс процесін нақты басқарады.



1.9-сурет - Сызықтық электрлік жетекке қосымша компонент

Шарнирлердің ұшына орнатылған қызыл түсті қосымша бөлшектер PLA материалынан 3D-принтерде басып шығарылған. Бұл компоненттер шарнирлерді табан және балтыр платформаларымен мықтап бекітуге, сондай-ақ жетектің тұрақты әрі тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге арналған. Жоғары дәлдікпен жасалған бұл бөлшектер құрылғының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттырады.

1.9-суретте мұнда электрлік сызықтық жетек Arduino Uno микроконтроллері арқылы басқарылады. Arduino Uno қозғалыс сигналдарын L298N драйверіне жібереді. Бұл драйвер микроконтроллерден келіп түскен командаларға сәйкес жетектің қозғалыс бағыты мен жылдамдығын реттейді. Жетек 12 В адаптерден қоректенеді. Басқару сигналы джойстик арқылы беріледі, ол пайдаланушының қозғалыс бағыты мен жылдамдығын таңдауына мүмкіндік береді. Джойстиктен келген сигналдар Arduino арқылы өңделіп, L298N драйверіне жіберіледі, ал драйвер осы сигналдарға сүйене отырып сызықтық жетекті басқарады.

1.10-суретте бұл басқару жүйесі нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікпен жұмыс істейді және икемділігімен ерекшеленеді. Жүйенің интерфейсі қарапайым және түсінікті, пайдаланушы джойстик арқылы оңай басқара алады. Құрылғының жұмыс схемасы көрсетілген, онда жүйенің негізгі компоненттері — микроконтроллер, қозғалтқыш драйвері, сызықтық жетек және қуат көзі — толық бейнеленген. Мұндай архитектура түрлі қолдану салаларында жүйенің сенімді және тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.



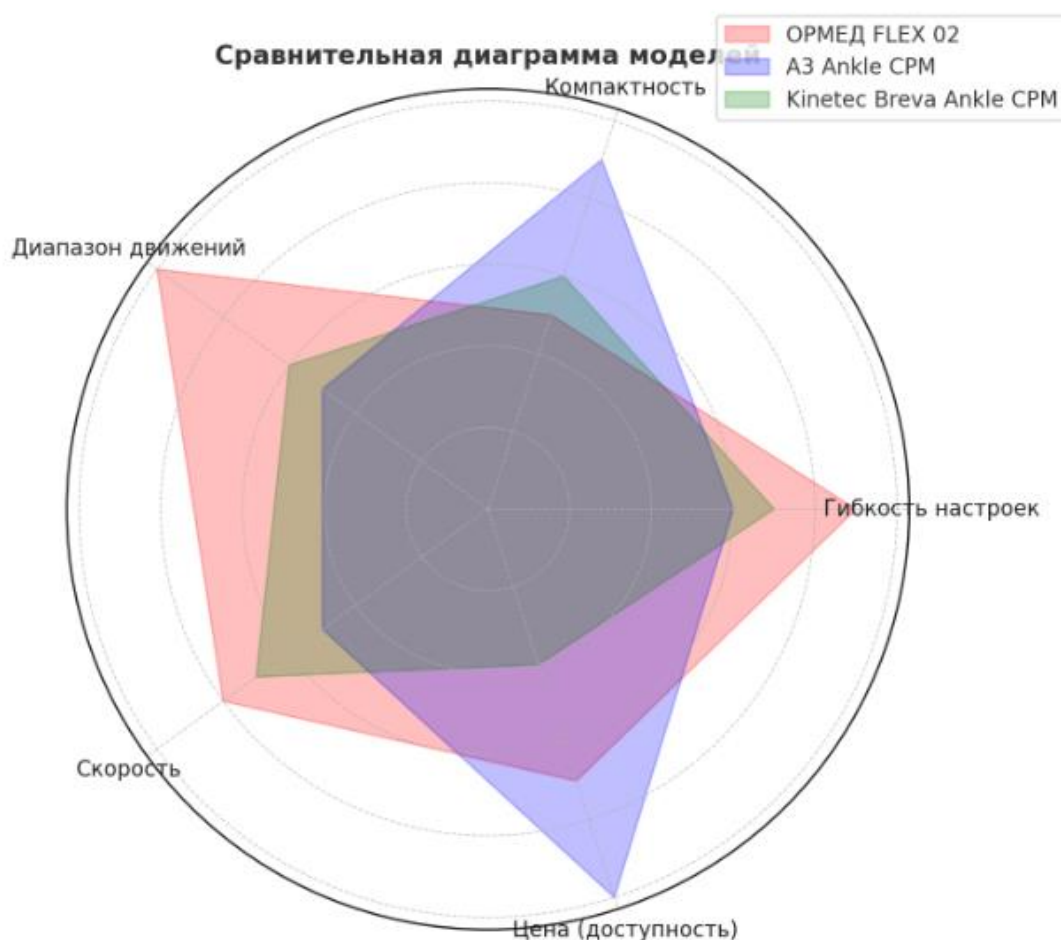
1.10-сурет - Almaty Ankle Exoskeleton V.2

1.1-кесте-модельдің қорытынды кестесі

Параметрлер	ОРМЕД FLEX 02	A3 Ankle CPM	Kinetec Breva Ankle CPM
Ел – өндіруші	Ресей	Қытай	Франция
Қозғалтқыш түрі	Электромеханикалық	Электромеханикалық	Электромеханикалық
Қозғалыс ауқымы	4 бағыт	2 бағыт	2 бағыт
Амплитуданы реттеу	Иә, жеке баптаулар	Иә, бірақ шектеулі	Иә, стандартты баптаулар
Пассивті мобилизация функциясы	Иә	Иә	Иә
Қозғалыс жылдамдығы	Реттелетін (3 деңгей)	Тұрақты	Реттелетін (2 деңгей)
Баптаулардың икемділігі	Жоғары	Орташа	Орташа
Дисплей және басқару	Сенсорлы дисплей	Түймешіктен басқару	Түймешіктен басқару

1.1-кестенің жалғасы

Параметрлер	ОРМЕД FLEX 02	A3 Ankle CPM	Kinetec Brevia Ankle CPM
Ыңғайлылық	Орташа	Жоғары	Орташа
Негізгі артықшылықтары	- 4 бағытта жұмыс істейді - Икемді баптаулар - Қолжетімді баға	- Ыңғайлы және жеңіл - Қарапайым пайдалану	- Еуропалық сапа - Сенімділік
Негізгі кемшіліктері	- Көлемді - Оқыту қажет	- Қозғалыс ауқымы шектеулі	- Жоғары баға - Шектеулі баптаулар
Бағасы (шамамен)	Орташа баға	Бюджеттік	Қымбат



1.11-сурет - Модельдің салыстырмалы диаграммасы

1.4 Оңалтуға арналған параллель робот манипуляторларына шолу

Бұл мақалада оңалтуға арналған параллель робот манипуляторлардың (ОРМ) қазіргі жағдайына жан-жақты шолу жасалған. Авторлар роботтардың пневматикалық және электр жетегі негізіндегі түрлерін, олардың атқарушы механизмдерінің конфигурацияларын, траекторияны бақылау әдістерін және оңалту тәсілдерін жүйелі түрде сипаттаған. Негізгі назар тобық буынының

оңалтуына арналған құрылғылардың механикалық дизайнын оңтайландыруға және пациентпен өзара әрекеттесу стратегияларын жетілдіруге бағытталған.

Мақала өзектілігімен ерекшеленеді. 1-12-суретте инсульт пен орталық жүйке жүйесінің зақымдануы салдарынан туындайтын тобық буынының дисфункциясын оңалту – қазіргі заманғы медицинада аса маңызды мәселе. Физиотерапиядағы роботталған жүйелердің дамуы осы саладағы ресурстар тапшылығын өтеу үшін қажет. Робототехниканы қолдану пациенттерге ұзақ мерзімді, дәл және қайталанатын емдеу мүмкіндігін береді, ал бұл оңалту нәтижелерін жақсартуға септігін тигізеді.



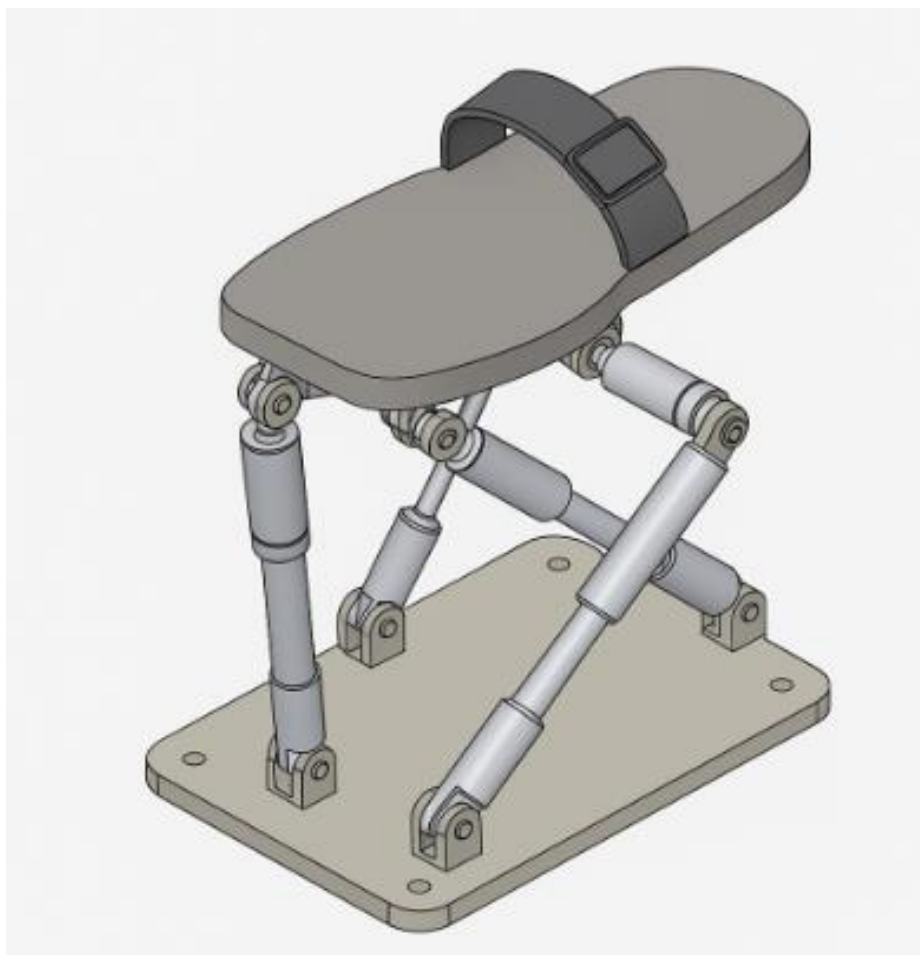
1.12-сурет - Оңалтуға арналған параллель робот манипулятор «Rutgers Ankle»

Мақаланың артықшылықтарына тоқталсақ, ең алдымен, шолудың жүйелігі мен талдау тереңдігін айтуға болады. Робот түрлері, жетек тәсілдері және басқару стратегиялары нақты құрылымдалған және салыстырылған. Сонымен қатар, заманауи басқару алгоритмдеріне негізделген шешімдер ұсынылған: траекторияны бақылау, бейімделу бақылауы, үйлесімділік пен беріліс коэффициенттерін басқару сияқты әдістер талданған. Бұдан бөлек, мақала болашақ зерттеулер үшін өзекті бағыттарды — механизмді оңтайландыру, мультимодальды қозғалысты тану, айнымалы параметрлермен үйлесімділікті басқару қажеттігін айқын көрсеткен. Роботтардың нақты терапевтік әсері, мысалы, ROM қалпына келтіру, бұлшықет күшін арттыру және тепе-теңдік қабілетін дамыту туралы нақты дәлелдер келтірілген.



1.13-сурет – Робот манипуляторлар

Дегенмен, мақалада кейбір кемшіліктер де байқалады. Біріншіден, көп жүйелер тек зертханалық ортада тестіленген, ал толыққанды клиникалық сынақтар жеткіліксіз жүргізілген. 1.13-суреттегідей бұл роботтарды тікелей медициналық практикада қолдануда шектеулер туындатады. Екіншіден, пневматикалық жетектердің сызықты еместігі және уақыт бойынша өзгеретін қасиеттері басқару жүйелерін күрделендіреді. Үшіншіден, траекторияны бақылау және үйлесімділік басқару тәсілдері әртүрлі жобаларда әркелкі қолданылған, бұл бірыңғай оңалту стандарттарын қалыптастыруды қиындатады.



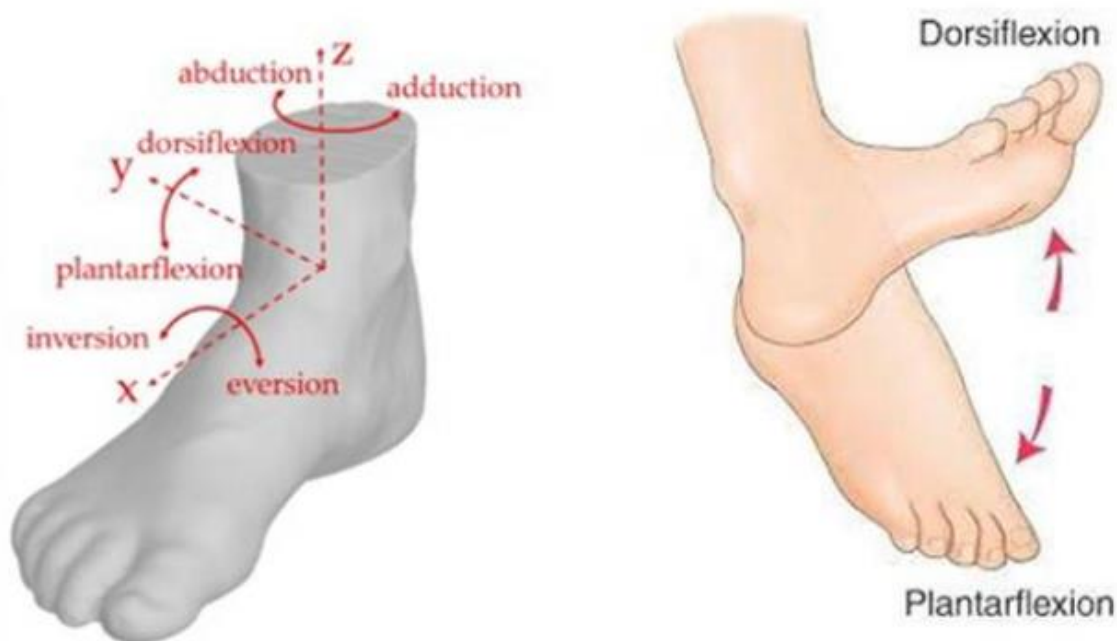
1.14-сурет – 3д модель

1.14-суретте болашақ мүмкіндіктерге келсек, мақалада бірнеше маңызды ұсыныстар жасалған. Біріншіден, пневматикалық және электр жетектерінің артықшылықтарын біріктіретін жаңа гибриді жетек түрлерін әзірлеу ұсынылады. Екіншіден, пациенттердің жағдайына бейімделетін айнымалы параметрлермен үйлесімділікті басқару жүйелерін дамыту қажет. Үшіншіден, EMG сигналдары негізінде мультимодальды қозғалысты алдын ала тану технологияларын қолдану ұсынылады. Төртіншіден, роботтарды нақты клиникалық сынақтардан өткізу және оңтайлы физикалық терапия әдістерін әзірлеу маңызды екені атап өтілген.

Қорытындылай келе, мақала оңалтуға арналған параллель робот манипуляторлар саласындағы қазіргі даму жағдайын толық әрі жүйелі түрде сипаттайды. Оның ғылыми және практикалық құндылығы жоғары. Болашақта ұсынылған бағыттарды дамыту арқылы оңалту роботтарының тиімділігін арттыруға және оларды кеңінен қолдануға қол жеткізуге болады. Бұл жұмыс болашақ инженерлер мен зерттеушілерге параллель робот манипуляторлар негізінде жаңа оңалту құрылғыларын әзірлеуде маңызды бағдар береді және бүкіл оңалту робототехника саласының дамуына елеулі үлес қосады деп сеніммен айтуға болады.

Тобықты қалпына келтіруге арналған роботты кешенді дамытудың қысқаша сипаттамасы

Тобық моторикасын қалпына келтіруге арналған роботты оңалту кешені. Жобаның негізгі мақсаты-параметрлерді жеке баптау мүмкіндігімен буындардағы бақыланатын пассивті қозғалыстарды қамтамасыз ету. Кешен жарақат алған, операция жасаған немесе тобық аймағында қозғалғыштығының шектелуімен бірге жүретін аурулардан зардап шегетін науқастарға бағытталған. Дизайн ең аз жүктемемен және пациенттің физиологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, қозғалыстарды қауіпсіз көбейтуге мүмкіндік беретін кабельдік жетегі бар механизмге негізделген.



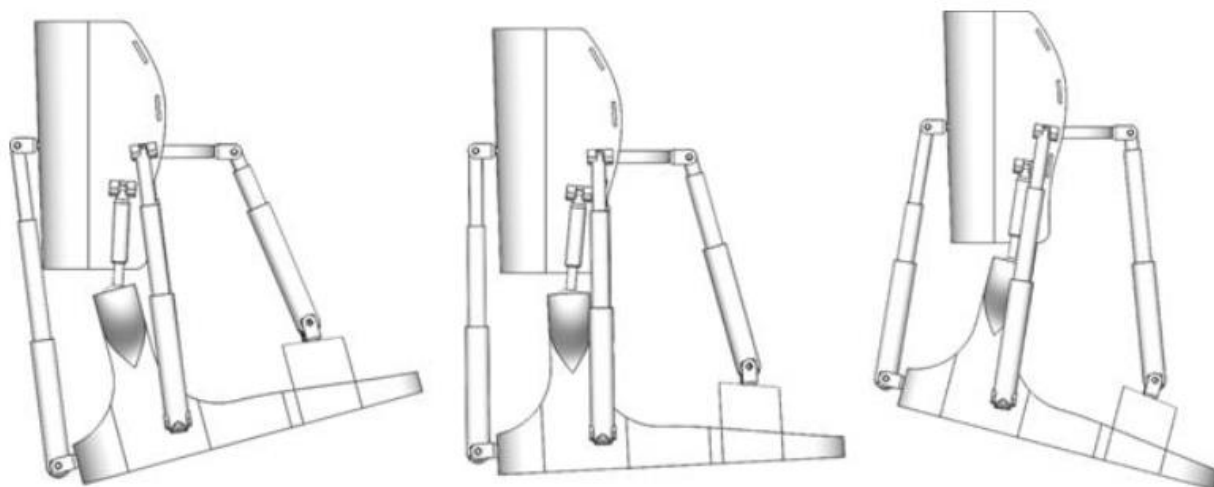
1.15-сурет - Адамның тобық буынына тән қозғалыстары

1.15-суретте негізгі плюс-емдеудің бейімделуі және даралануы. Құрылғы оңалту кезеңіне сәйкес келетін қозғалыс амплитудасы мен жылдамдығын қамтамасыз ете отырып, белгілі бір пациентке бейімделе алады. Кабельдік механизмді пайдалану құрылымдыактам және қауіпсіз етеді, буындардың шамадан тыс жүктелу қаупін азайтады.

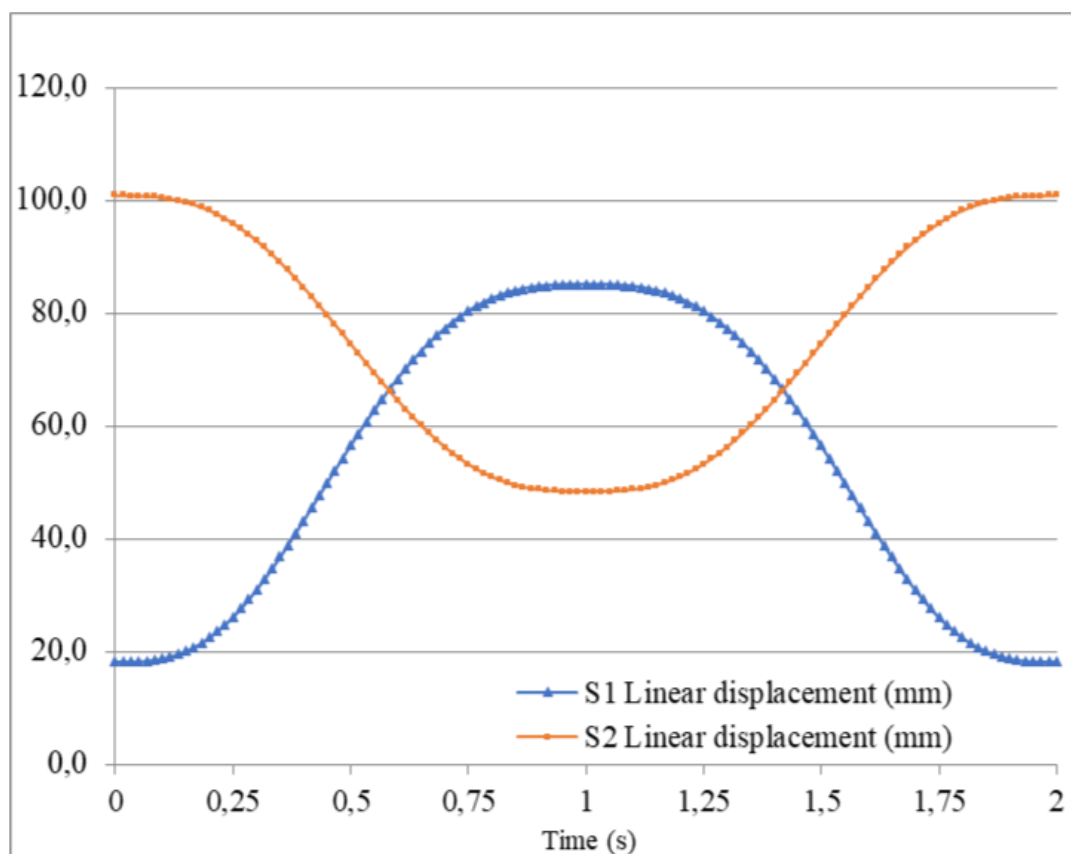
Оңалту жүйелілік, дәлдік және қозғалысты автоматтандыру арқылы тиімдірек болады, бұл тіпті ерте кезеңдерде де буын функциясын қалпына келтіру мүмкіндігін арттырады. Визуалды бақылау және деректерді тіркеу мүмкіндігі жүйені дәрігерлер мен пациенттерге ыңғайлы етеді.

1.16-1.17-суреттерде ықтимал кемшіліктердің арасында қызметкерлерді бастапқы оқыту қажеттілігін атап өтуге болады, әсіресе бағдарламалық жасақтамамен немесе кабельдерді орнатумен жұмыс істегенде. Сондай-ақ, кез-келген жоғары технологиялық жабдық сияқты, жүйе үнемі техникалық қызмет көрсетуді қажет етеді. Ақырында, құрылғының құны қарапайым ортопедиялық құралдармен немесе классикалық жаттығу залымен

салыстырғанда жоғары болуы мүмкін, бұл мақсатты қаржыландырусыз жеке мекемелер үшін қолжетімділікті шектейді.



1.16-сурет – Симуляцияланған дорсифлексияның суреті



1.17-сурет - Сызықтық жетектердің қозғалысы жағдайында суреттегі қозғалысты имитациялауға арналған кіріс деректері

2 Оңалтуды қажет ететін тобық жарақаттары мен ауруларының анатомиясы

2.1 Анатомиялық шолу және жарақаттар түрі

Тобық буыны - аяқтың қозғалғыштығын қамтамасыз ететін сүйектерді, байламдарды, сіңірлерді және бұлшықеттерді қамтитын күрделі анатомиялық құрылым. Бұл буынның зақымдануы қозғалғыштықтың айтарлықтай шектеулеріне, ауырсынуға және функционалдылықтың жоғалуына әкелуі мүмкін. Оңалтуды қажет ететін негізгі жарақаттар мен аурулар:

Дислокация және сублюксация

- a) кенеттен қозғалыс немесе соққы кезінде пайда болады.
- b) байламдардың созылуына немесе жыртылуына әкеледі.
- c) белгілері: қатты ауырсыну, ісіну, буынның деформациясы.

Тобық сынықтары

- a) көбінесе құлау немесе сәтсіз қону кезінде болады.
- b) бір және бірнеше сүйек сынуы мүмкін.
- c) ұзақ иммобилизация және кейінгі қалпына келтіру қажет.

Созылу және жыртылған байламдар

- a) ең көп таралған зақымдардың бірі.
- b) үзілістер ішінара немесе толық болуы мүмкін.
- c) емделгеннен кейін байламдар әлсірейді, бұл қайталанатын

жарақат алу қаупін арттырады.

Жарақаттан кейінгі артроз

- a) сынықтардан немесе дислокациядан кейін дамиды.
- b) шеміршектің бұзылуына, ауырсынуына және қозғалғыштығының шектелуіне әкеледі.

- c) хирургиялық араласуды қажет етуі мүмкін.

Ахиллес бурситі және Ахиллес сіңірінің тендиниті

- a) сіңірлердегі қабыну процестері.
- b) шамадан тыс жүктемелерден, жарақаттардан немесе инфекциялардан туындайды.

- c) белгілері: ауырсыну, ісіну, қозғалыстың қаттылығы.

Созылмалы тобық тұрақсыздығы синдромы

- a) байлам аппаратының бірнеше рет жарақаттануынан кейін пайда болады.

- b) буын тұрақсыз болып, жиі дислокацияға әкеледі.

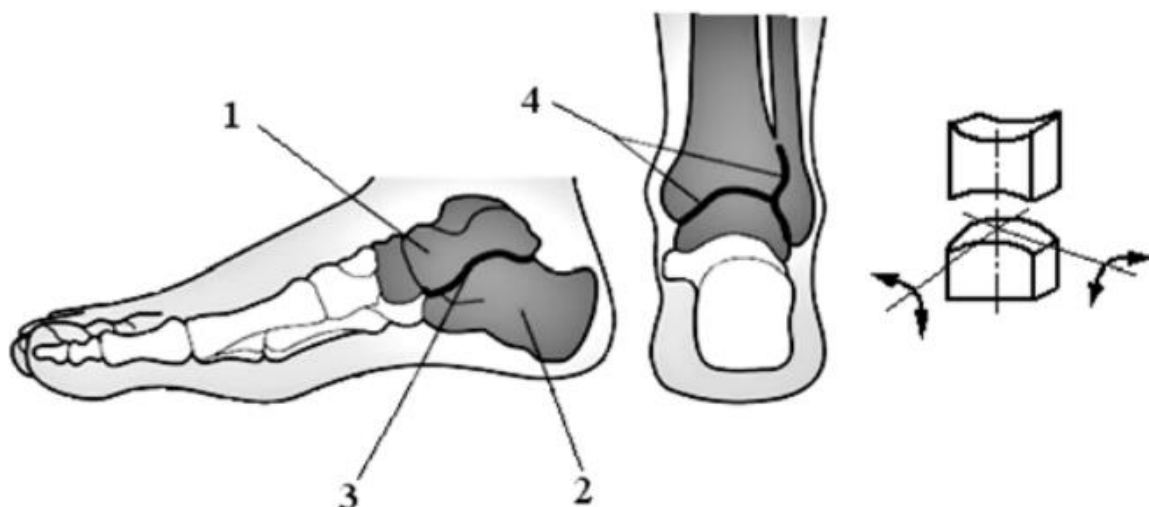
- c) бұлшықеттерді нығайту және қозғалысты бақылауды қалпына келтіру үшін мамандандырылған оңалту қажет.

Функцияларды қалпына келтірудегі оңалтудың рөлі

Мұндай зақымданудан кейін оңалту маңызды рөл атқарады:

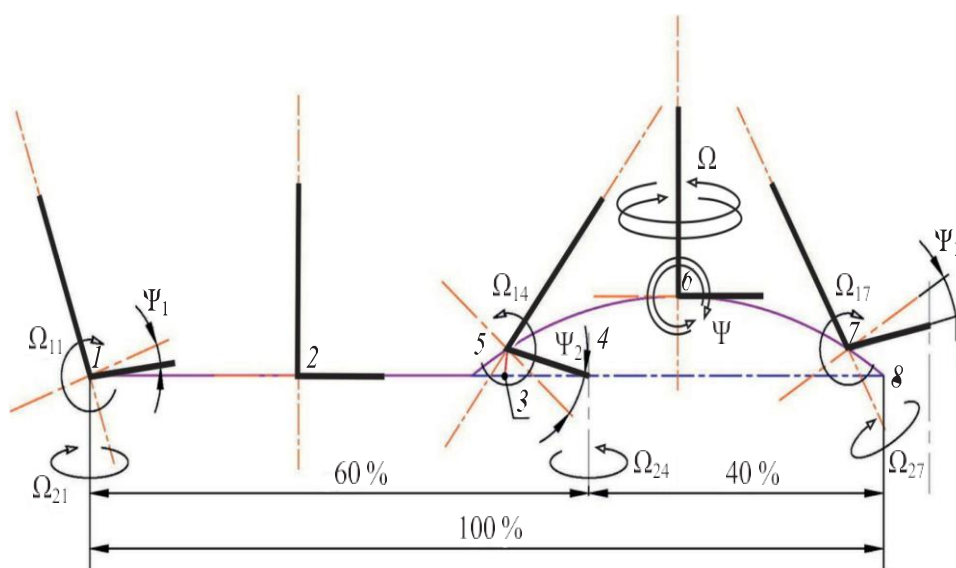
- a) қозғалыс амплитудасын қалпына келтіру.
- b) қайталанатын жарақаттардың алдын алу үшін байламдар мен бұлшықеттерді күшейту.
- c) үйлестіру мен тепе-теңдікті жақсарту.

d) ауырсыну синдромының төмендеуі және науқастың өмір сүру сапасының жақсаруы.



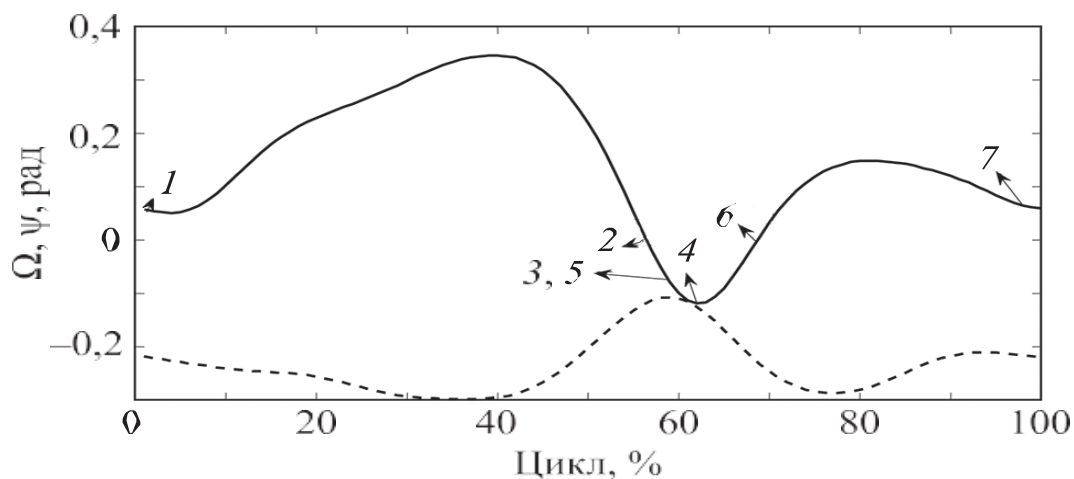
2.1-сурет - Адам аяғы: 1 – таран сүйегі; 2 – өкше сүйегі; 3 – таранасты буын; 4 – тобық буыны (ТБ)

2.1-2.2-суреттердегідей, тобық буыны дененің тік тұрақтылығын және аяқтың тірек бетіне бейімделуін қамтамасыз етеді. Ол дорсифлексия, плантарлы флексия, инверсия және эверсияны қоса алғанда, күрделі үйлестірілген қозғалыстарға қатысады. Бұл жағдайда зақымдану көбінесе аяқтың супинациясымен плантарлы иілу нәтижесінде пайда болады-мысалы, сәтсіз қону кезінде. Буын байламдарының икемділігі төмен, бұл жарақат кезінде созылуға емес, талшықтардың ішінара немесе толық жыртылуына әкеледі.



2.2-сурет - Қадам циклограммасы: толық қадам циклі (100 %); жанасу кезіндегі қадам циклдерінің үлесі (60 %) және аяқты тасымалдау кезінде (40 %).

1-өкше контактісі; 2-аяқтың толық тірегі; 3-саусақ тірегіне өту сәтіндегі нүкте; 4-шекті саусақ контактісінің нүктесі; 5-аяқты тасымалдау фазасына өту сәтіндегі нүкте; 6, 7 — тасымалдау фазасындағы нүктелер; 8 — тасымалдау фазасы аяқталған кездегі өкше контактісінің нүктесі; Ω , ψ — нүктедегі тербелмелі қозғалыстар



2.3-сурет - Сагиттальды жазықтықта сол аяққа арналған аяқтың артқы және табандық бұрыштық иілу графиктері (қатты сызық) және тірек жазықтығындағы айналмалы бұрылыстар (нүктелі сызық)

2.2 Тобық бойынша эксперименттік есептеулер

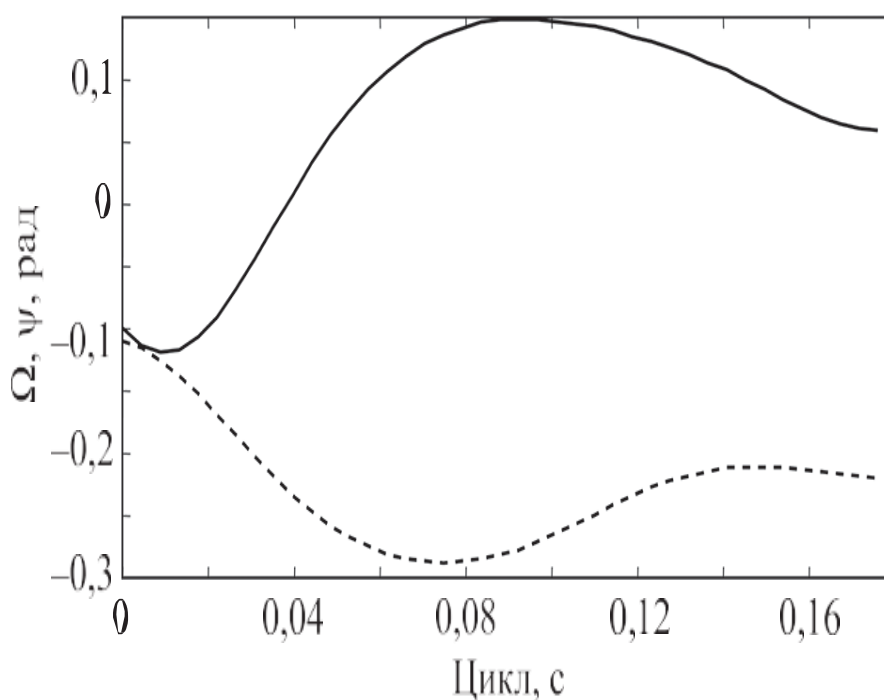
Кестеде өлшенген шамалардың мәндері берілген. Т шамасы абсцисса осінің цикл өлшемінен уақыт өлшеміне өтуге мүмкіндік береді. Мысалы, сол аяғы үшін қадам циклінің бөлігі $t_l = 0,49/100$ қатынасына тең мәнге сәйкес келеді. Ал оң аяғы үшін $TR = 0,44/100$ қатынасы. Біз Ω_{14} және Ω_{25} бұрыштық жылдамдықтарын бағалауды есептеу үшін қолданамыз. T_l және TR өлшемдерін қолдана отырып, 40-60% цикл фрагменттеріндегі қисық бұтақтарды сызықтық. Содан кейін түзулердің көлбеу бұрыштарының тангенстерін есептеу кезінде жартылай-қажетті бұрыштық жылдамдықтар. Бұрыштық жылдамдықтар мен беріліс қатынастарының мәндері $W = \Omega_{14}/\Omega_{24}$, кестеде келтірілген. 2. Уақыт өлшемін ескере отырып, 60-100% аяқты тасымалдау фазасы абсцисса осінің есептеулерінде көрсетілген 0-ден 0,176 с-қа дейінгі мәндерге сәйкес келеді (сурет. 3) сол аяғы үшін. Аяғы жиіліктермен еркін тербелмелі қозғалыстар жасайтынын көруге болады: сагиттальды жазықтықта k ; есептелген мәндері Кестеде келтірілген тірек жазықтығында p .

2.1-кесте - Бастапқы деректер

Аяқ	Өлшенген шамалар			
	Аяқтың ұзындығы l , м	Субъектінің қозғалыс жылдамдығы v , м / с	Қадам ұзындығы S , м	Т қадамының цикл уақыты, с
Сол	0,2	1,38	0,68	0,49
Оң	0,2	1,45	0,65	0,44

2.2-кесте - бұрыштық жылдамдықтар мен табиғи тербеліс жиіліктерінің есептелген мәндері

Аяқ	Өлшенген шамалар				
	Ω_{14} , с ⁻¹	Ω_{24} , с ⁻¹	W	k , с ⁻¹	p , с ⁻¹
Сол	4,11	2,41	1,67	15,57	40,80
Оң	3,30	4,52	0,73	36,22	32,61



2.4-сурет – Нәтиже

2.3 суретте аяқтың жанаспайтын тербелмелі фазасы: дорсальды және плантарлы аяқтың бұрыштық бүгілуі (қатты сызық) сол аяққа арналған сагиттальды жазықтықта және тірек жазықтығындағы айналмалы бұрылыстар (нүктелі сызық)

Реакцияның тірек күштерінің құрамдас бөліктері туралы эксперименттік деректерді қарастырыңыз: сагиттальды жазықтықтағы тік $F1$ (VerticalForce) және тірек жазықтықтағы $F2$ (MedialLateralForce). Суретте. 4 сол аяқтың тірек

бетімен жанасу фазасындағы тірек реакцияларының өзгеру заңдылықтары көрсетілген қадам циклінің үлесі 60 %.

Салыстырмалы талдау жасаған жөн сурет 2.3 және сурет 2.4. Графиктердің бөліктерін талдауға тоқталайық сурет. 4 циклдің 29-58% интервалында, бұл 0-0,139 с уақыт аралығына сәйкес келеді. бұл интервалдар абсцисса осіндегі белгілермен көрсетілген, берілген интервалдағы қаралатын күштердің импульстары ақырлы. Импульстарды белгілеуді келесідей енгізейік:

$$Q = \int_0^{0,139} F dt$$

Графиктерде сурет бар екенін ескеріңіз. 2 дәл осы аралықта аяқтың иілу/созылу бұрыштық жылдамдықтарының шамасы мен бағыты бойынша өзгеретінін көруге болады. Осылайша 2.1-2.2 кестеге сүйене отыра, динамика мен кинематика тұрғысынан байқалатын құбылыс екпінді құбылысқа жатады [15, 16]. Қарастырылып отырған уақыт аралығында соққы аяқтың саусағымен жасалады, нәтижесінде аяқтың тірек бетімен байланысы бірден бұзылады, ал аяқтың өзі сонымен қатар бұрыштық жылдамдықты алады: бұрыштық жылдамдық Ω_{24} жіліншік осінің айналасында 5 нүктеде айналу және бұрыштық айналу жылдамдығы Ω_{14} сагиттальды жазықтықтағы дорсифлексия фазасында. Болашақта біз қарастырылып отырған 2.4 суретте бұрыштық жылдамдықтардың белгілеуіндегі алғашқы индекстерді ғана қолданамыз.

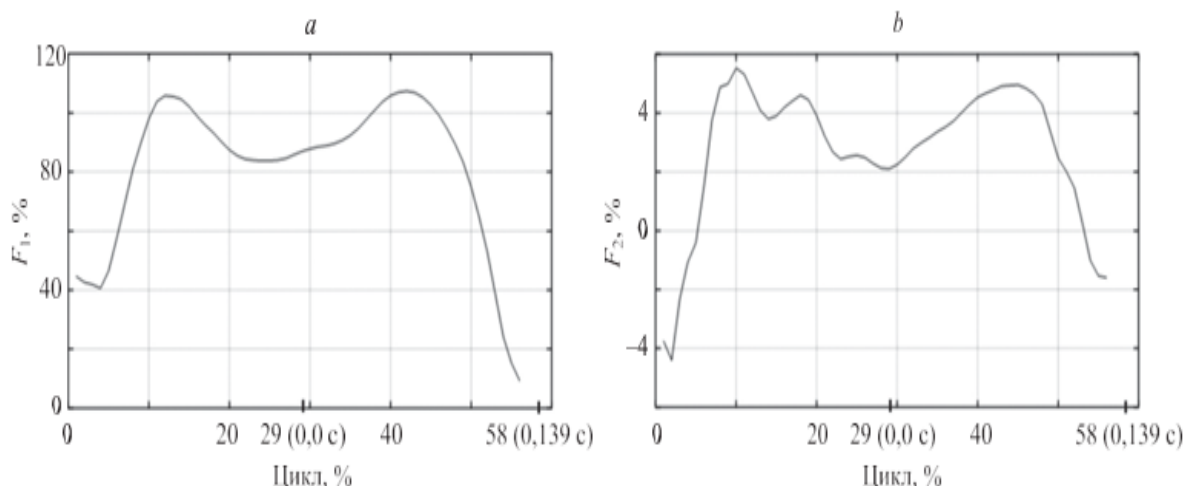


Рис. 4. Силы реакции стопы к массе тела испытуемого: F_1 — вертикальная сила (a); F_2 — поперечная сила (b)

Fig. 4. Ground Reaction Force: F_1 — Vertical Force; F_2 — Med-Lateral Force

2.5-сурет – Күштер нәтижесі

2.3-кесте - Импульстардың күштердің және кинетикалық моменттердің мәндері

Аяқ	Момент импульстары		Кинетикалық сәттер	
	Q1, Н·с	Q2, Н·с	K1, Дж·с	K2, Дж·с
Сол жақ	68,66	2,31	13,73	0,46
Оң жақ	70,00	3,84	15,61	0,77

2.3-кестегі сәйкес, есептеулер нәтижесінде субъектінің массасы ескерілді, бұл ретте ординат осінің масштабы динамометриялық платформа деректерінің нормалануын ескере отырып, 7 есеге ұлғайтылды. Уақыт сегменттеріндегі абсцисса осінің цикл үлестерін қайта есептеу бұрын есептелген t_l және t_r қатынастары негізінде жүзеге асырылады. Күштер импульстарының (кинетикалық моменттердің) белгіленген осьтеріне қатысты моменттердің шамасын анықтайық: $K_1 = 1$; $K_2 = Q_2$ г. кестеде келтірілгендерді ескеріңіз. 3 K_1 және K_2 мәндері аяқтың 4-6-8 доғасы арқылы тасымалдау фазасына өту сәтіне сәйкес келеді (сурет. 1). Екінші жағынан,

$$K_1 = J_1\Omega_1, K_2 = J_2\Omega_2, \quad (1.1)$$

мұндағы, J_1 және J_2 -белгіленген осьтерге қатысты аяқтың инерция моменттері,

Ал p және k жиіліктерімен еркін тербелмелі қозғалыста физикалық маятник ретінде әрекет етеді.

Тербелмелі жүйелердің заңдарына сәйкес қаттылықты есептейміз:

$$C_1 = J_1 p^2, C_2 = J_2 k^2. \quad (1.1)$$

2.3 Тобықты қалпына келтіруге арналған роботты құрылғыны жасау қадамдары

Оңалтудың дәстүрлі әдістері көбінесе қозғалыс дәлдігінің жеткіліксіздігімен, жүктемелердің субъективтілігімен және маманның жұмысына жоғары тәуелділікпен бірге жүреді. Қозғалыс амплитудасын бағдарламаланатын бақылау мүмкіндігі бар роботты құрылғыны әзірлеу оңалтудың тиімділігін едәуір арттыруға және пациенттерді қалпына келтіру процесін жеделдетуге мүмкіндік береді.

Жобаның мақсаты-берілген бұрыштық диапазондарда аяқтың бағдарламаланатын қозғалысын қамтамасыз ететін кабельдік басқарылатын роботтық жүйені құру. Мұндай құрылғы пациенттерге буынның қозғалғыштығын қауіпсіз және тиімді қалпына келтіруге мүмкіндік береді.

Құрылғының негізгі міндеттеріне мыналар жатады:

Қозғалыс амплитудасын қалпына келтіру. Жүйе қалыпты қозғалыс биомеханикасын қалпына келтіруге мүмкіндік беретін белгіленген диапазондарда аяқтың тегіс, бақыланатын қозғалыстарын қамтамасыз етеді.

Қайталанатын жарақаттардың алдын алу үшін байламдар мен бұлшықеттерді күшейту. Роботтық терапия жүктемені біртіндеп арттыратын режимдерді қамтиды, бұл байлам аппаратын нығайтуға және қайталанатын зақымданудың алдын алуға көмектеседі.

Үйлестіру мен тепе-теңдікті жақсарту. Қозғалысты басқару алгоритмдерінің арқасында құрылғы пациенттерге жүйке-бұлшықет координациясын жаттықтыруға және қозғалысты бақылауды қалпына келтіруге көмектеседі.

Ауырсыну синдромының төмендеуі және науқастың өмір сүру сапасының жоғарылауы. Жүктемені бақылау және терапия параметрлерін Жеке реттеу ауырсынуды азайтуға және оңалту процесін ыңғайлы етуге көмектеседі.

Құрылғының жұмысы берілген амплитудасы мен жылдамдығымен аяқтың әртүрлі бағытта (алға-артқа, ішке-сыртқа) қозғалысын бағдарламаланатын басқаруға негізделеді. Кабельдік жетек қозғалыстардың тегістігі мен дәлдігін қамтамасыз етеді, бұл оңалтуды қауіпсіз және тиімді жүргізуге мүмкіндік береді.

Өзірленген робот пациенттерді қалпына келтіру процесін жеделдетуге, қайта жарақат алу мүмкіндігін азайтуға, қозғалысты үйлестіруді жақсартуға және оңалтудың ыңғайлылығын арттыруға көмектеседі деп күтілуде. Мұндай жүйені медициналық практикаға енгізу білек буынының жарақаттары мен аурулары бар пациенттерді қалпына келтіру емінің сапасын едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

3 Оңалту роботының толық моделінің жұмыс жасау принциптері

3.1 Кинематикалық және динамикалық моделдеу

Тобықты қалпына келтіру құрылғысын жобалаудың негізгі кезеңдерінің бірі-оның кинематикалық моделін құру. Бұл модель серво басқаратын кабельдердің кернеуіне жауап ретінде пациенттің аяғы бекітілген платформаның қалай қозғалатынын анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай модельдің негізгі міндеті-платформа физиологиялық рұқсат етілген диапазонда аяқтың берілген бұрыштық қозғалысын қамтамасыз ету үшін кабельді қандай мөлшерде созу (немесе босату) керек екенін есептеу.

Қарастырылып отырған дизайнда аяқ платформасында бір еркіндік дәрежесі бар тобық ортасынан өтетін көлденең осьтің айналасында айналу. Платформаның шеттеріне кабельдер бекітіледі, олардың бір ұшы қозғалтқышқа, ал екінші ұшы механизмнің қозғалмалы бөлігіне қосылады. Қозғалтқыш білігі айналған кезде кабель тартылып, платформадағы бекіту нүктесі шеңбер доғасын сипаттай бастайды, бұл платформаның қисаюына әкеледі.

Бұл траекторияны сипаттау үшін шеңбер доғасының (3.1) формуласындағы теңдеуі қолданылады. Кабельді бекіту нүктесі айналу осінен сипатталған доғаның радиусына сәйкес келетін R қашықтыққа алыс болсын. Содан кейін платформа бұрышқа қисайған кезде θ (радианмен), бекіту нүктесі өтетін доғаның ұзындығы келесідей анықталады:

$$\Delta L = r \cdot \theta \quad (3.1)$$

мұндағы, ΔL -кабельді тарту (немесе қысқарту) ұзындығы;

r -айналу осінен кабельді бекіту нүктесіне дейінгі қашықтық;

θ -платформаның қажетті айналу бұрышы.

Бұл тәсіл берілген қозғалысты қамтамасыз ету үшін кабель ұзындығының қажетті өзгеруін жоғары дәлдікпен есептеуге мүмкіндік береді. Маңыздысы, егер ол градуспен берілсе, θ (3.2) формуладай бұрышы радианға аударылуы керек:

$$\theta = \frac{\theta_{\text{град}} \cdot \pi}{180} \quad (3.2)$$

Айналу центрінен кабельді бекіту нүктесіне дейінгі қашықтық $r=0.1$ м (10 см), ал аяқтың қажетті айналу бұрышы 15° екенін қарастырыңыз. Содан кейін радиандағы бұрыш болады:

$$\theta = \frac{15 \cdot \pi}{180} = \frac{\pi}{12} \approx 0,262 \text{ рад}$$

$$\Delta L = 0.1 \cdot 0.262 = 0.0262 \text{ м} = 2.62 \text{ см}$$

Осылайша, платформаны 15° бұру үшін кабельді 2.62 см ұзарту (немесе босату) керек. егер кері бағытта қозғалыс жасау қажет болса, екінші жетекпен тартылатын қарама-қарсы кабель қолданылады, жүйе тегіс және дәл қозғалысқа жету үшін кернеу синхрондылығын қамтамасыз етуі керек.

Әзірленген кинематикалық модель жобалау кезеңінде кабельдік жетектің геометриясы мен параметрлерін дұрыс есептеуге, сондай-ақ оңалту процесінің бөлігі ретінде пациенттің табанының орналасуын бағдарламалық басқаруды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Динамикалық модельдеу

Табан панелінің қозғалысы айналмалы қозғалыс ретінде қарастырылады. Негізгі динамикалық теңдеу (3.3) формуласы айналмалы қозғалыс үшін Ньютонның екінші заңы:

$$J_{foot} \times \alpha = M_{servo} - M_{resist} \quad (3.3)$$

мұндағы, J_{foot} — табан панелінің айналу инерция моменті ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$),

α — табанның бұрыштық үдеуі ($\text{рад}/\text{с}^2$),

M_{servo} — сервоқозғалтқыштың табанға түсіретін моменті ($\text{Н} \cdot \text{м}$),

M_{resist} — қарсыласу моменті (мысалы, ауырлық күшінен туындайтын).

Сервомотор моменті мен леска күші арасындағы байланыс (3.4) формуласындай былай жазылады:

$$M_{servo} = F_{cable} \times r_{foot} \quad (3.4)$$

мұндағы, F_{cable} — лесканың тарту күші (Н),

r_{foot} — шпилька мен айналу осінің арақашықтығы (м).

Леска тарту күшінің анықтамасы

Табанның қозғалуын қамтамасыз ету үшін леска белгілі бір минималды күшпен тартылуы керек. Бұл күш (3.5) формуласы табан салмағы мен ауырлық күшінен туындайтын моментті жеңуі тиіс.

Керекті леска тарту күші:

$$f_{cable} = \frac{M_{gravity}}{r_{foot}} \quad (3.5)$$

мұндағы, $M_{gravity} = m_{foot} \times g \times l_{foot} \times \sin(\theta_{foot})$ — табан мен табан платформасының жалпы массасы (кг),

g — еркін түсу үдеуі ($9.81 \text{ м}/\text{с}^2$),

l_{foot} — ауырлық центрінің айналу осіне дейінгі қашықтық (м),

θ_{foot} — табанның ағымдағы бұрышы (рад).

Бұл математикалық модель құрылғының жұмыс істеу принципін дәл сипаттайды және сервомотордың қажетті моментін, леска тарту күшін, сондай-ақ табан панелінің қозғалысын алдын ала есептеуге мүмкіндік береді. Бұл модель MATLAB/Simulink ортасында симуляция жасауға негіз болады.

3.2 Техникалық шешім сипаттамасы және негізгі құрылымдық элементтер

Ұсынылып отырған сервожетекті ортез табан қозғалысын басқаруға арналған жартылай автоматтандырылған құрылғы. Бұл жүйе балтыр бөлігіне орнатылатын сервомотор көмегімен табанды жоғары көтереді. Сервоқозғалтқыш пен табан панелінің арасында тартылатын леска арқылы күш беріледі, ал табанның бастапқы қалпына келуі өзінің салмағы әсерінен жүзеге асады.

Мұндай механизм орталық жүйке жүйесінің зақымдануынан кейін табанның дорсифлексия қозғалысын (жоғары қарай қозғалуын) қайта қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Негізгі құрылымдық элементтер:

a) Балтырлық қаңқа (корпус): Балтыр айналасын қоршайтын қатты, жеңіл материалдан жасалған (пластик, композиттік материал). Балтырды сенімді түрде бекітеді және сервомоторды орналастыру үшін тірек ретінде қызмет етеді.

b) Табан платформасы Аяқтың табан бөлігіне арналған қозғалмалы платформа. Бұл элемент белгілі бір осьтің айналасында жоғары-төмен қозғалады (дорсифлексия және плантарфлексия бағытында).

c) Сервоқозғалтқыш (MG-сериялы мотор): Кішкентай, бірақ жоғары айналу моментіне ие сервомотор балтыр корпусына бекітіледі. Сервоньң бұрылу бұрышы (180° дейін) леска арқылы табанды қажетті бұрышқа дейін тартып көтереді.

d) Леска (болат немесе жоғары беріктігі бар синтетикалық жіп): Сервомотор катушкасына оралған леска төмен қарай тартылады. Леска табан панеліндегі арнайы шпилькаға (бүйір жағынан шыққан түйін) бекітіледі. Лесканың тартылуы табанның жоғары қозғалуына әкеледі.

e) Шпилька (металл бекіту штангасы): Табан панелінің бүйірінен (сыртқы жағынан) шығып тұрады және лесканың тарту күшін бағыттайды. Бұл шпилька күш векторын дұрыс бағыттауды қамтамасыз етеді.

f) Бекіту белдіктері (Велкро/липучка): Балтыр мен табанды сенімді бекіту үшін бірнеше реттелетін белдіктер қолданылады. Олар ортездің қозғалмай дұрыс орналасуын қамтамасыз етеді.

Ортез құрылғысының жұмыс принципі өте қарапайым және тиімді. Балтыр бөлігіне орнатылған сервоқозғалтқыш басқару сигналы арқылы белгілі бір бұрышқа бұрылады. Бұл бұрылу кезінде сервоқозғалтқыштың білігіне оралған леска қатты тартылады. Леска бір ұшымен серво катушкасына бекітілген болса, екінші ұшы табан панелінің бүйірінен шығып тұрған арнайы шпилькаға бекітілген.

Серво бұрылған кезде лесканы өзіне тартады, нәтижесінде табан панеліндегі шпилька арқылы күш беріледі. Бұл тартылу табан панелін жоғары бағытта қозғалысқа келтіреді, яғни дорсифлексия қозғалысы орындалады. Мұндай қозғалыс табанның өздігінен жоғары көтерілуін қамтамасыз етеді, бұл орталық жүйке жүйесі зақымданған науқастар үшін өте маңызды.

Егер сервоқозғалтқыш тоқтатылса немесе оған сигнал берілмесе, онда табан платформасы табиғи жолмен, яғни өзінің салмағының әсерінен бастапқы орнына қайта оралады. Бұл процесс пассивті плантарфлексия деп аталады. Арнайы тарту күшін теңгеретін лесканың кернеулі күйде болуы табан қозғалысының тұрақтылығын және бірқалыптылығын қамтамасыз етеді. Лесканың кернеулі болуы қозғалыс кезінде артық босау немесе шектен тыс тартылу сияқты кемшіліктердің алдын алады.

Құрылғы пациенттің табанын қауіпсіз және дәл басқаруға мүмкіндік береді, ал леска мен сервоқозғалтқыштың бірлескен жұмысы оңалту процесінің сапасын арттырады. Жүйе механикалық тұрғыдан қарапайым, бірақ реабилитация мақсатында өте тиімді шешім ұсынады.

3.3 Құрылғының ерекшеліктері мен техникалық шолу

Ұсынылып отырған сервожетекті ортез құрылғысы бірнеше маңызды артықшылықтарға ие, олар оны реабилитация процесінде жоғары тиімді және қолайлы құралға айналдырады.

Құрылғының негізгі артықшылықтарының бірі оны басқарудың жеңілдігі. Сервоқозғалтқыш стандартты PWM (Pulse Width Modulation импульстік ендік модуляция) сигналы арқылы басқарылады. PWM сигналының көмегімен сервоның бұрылу бұрышын дәл реттеуге болады, бұл өз кезегінде табан панелінің қажетті қозғалыс амплитудасын қамтамасыз етеді. Бұл басқару әдісі қарапайым микроконтроллерлер арқылы оңай жүзеге асырылады және қосымша күрделі электрондық схемаларды қажет етпейді.

Құрылғының барлық компоненттері балтыр корпусы, табан платформасы және бекіту элементтері — жеңіл материалдардан жасалған. Бұл пациентке құрылғыны ұзақ уақыт бойы киіп жүруге мүмкіндік береді және қозғалыс кезінде ыңғайсыздықты азайтады. Жеңіл салмақ пациенттің табиғи қозғалысына минималды әсер етіп, оңалту процесінде шаршауды төмендетеді.

Сервожетекті жүйе әртүрлі параметрлерді — қозғалыс бұрышын, тарту күшін және жылдамдықты оңай бейімдеуге мүмкіндік береді. Бұл әр пациенттің физиологиялық қажеттіліктеріне сәйкес оңалту процесін жекешелендіруге жағдай жасайды. Мысалы, бастапқы кезеңде аз бұрышпен және аз күшпен қозғалыс жасалып, қалпына келу деңгейіне қарай параметрлер біртіндеп ұлғайтылуы мүмкін.

Құрылғы қауіпсіздік талаптарына толық жауап береді. Егер леска үзіліп кетсе немесе сервоқозғалтқыш істен шықса, табан платформасы табиғи түрде өзінің салмағының әсерінен төмен түседі. Бұл науқастың жарақат алу қаупін азайтады және кез келген техникалық ақау кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз

етеді. Сонымен қатар, леска үзілуге төзімді материалдан жасалады, бұл қосымша сенімділік береді.

3.1-суретке сәйкес, құрылғының ықшам және жеңіл конструкциясы оны әртүрлі ортада қолдануға мүмкіндік береді. Ортез медициналық оңалту орталықтарында да, пациенттің үй жағдайында да тиімді пайдаланылуы мүмкін. Үйде қолдану оңалту процесін үздіксіз етуге және пациенттің тәуелсіздігін арттыруға көмектеседі. Құрылғыны оңай шешу және кию мүмкіндігі оны күнделікті өмірде қолайлы етеді.



3.1-сурет – 3д модель

Бұл 3D-модель SolidWorks бағдарламасында жасалды және ол тобық буынының реабилитациясына арналған троспен басқарылатын экзоскелеттік құрылғыны бейнелейді. Модель екі негізгі бөліктен тұрады: табан платформасы мен балтырды ұстайтын корпус. Құрылым анатомиялық ерекшеліктерге сай жасалып, пайдаланушының аяғына дәл отыруы үшін ішкі беті жұмсақ төсенішпен қамтамасыз етілген. Жоғарғы және ортаңғы бөліктерде бекітуге арналған екі белдік орналасқан, олар құрылғының аяққа мықтап бекітілуіне мүмкіндік береді.

Механикалық басқару жүйесі ретінде серводвигатель мен тростық жетек қолданылады. Серводвигатель балтыр платформасына орнатылған және трос арқылы табан бөлігін жоғары көтеріп, аяқтың дорсифлексия қозғалысын

жүзеге асырады. Бұл жүйе SolidWorks ортасында дәл өлшемдер мен нақты пропорциялар негізінде құрастырылған, сол арқылы құрылғының жұмыс процесін визуалды түрде модельдеуге және әрі қарай өндірістік дайындау үшін техникалық сызбалар алуға мүмкіндік береді.

Құрылғының корпусы-төменгі аяқтың артқы және бүйір беттерін қамтитын берік және жеңіл құрылым. Ол негізінен жоғары сапалы пластиктен немесе композициялық материалдардан жасалған, бұл беріктік пен массаның жақсы арақатынасына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Құрылғының Бұл бөлігі бірден екі негізгі функцияны орындайды: біріншіден, ол науқастың төменгі аяғын бекітеді, жаттығу кезінде оның жылжуын болдырмайды; екіншіден, белсенді элементтерді, атап айтқанда сервомоторды орнатудың негізгі платформасы ретінде қызмет етеді. Корпустың эргономикалық пішіні пациенттің жайлылығын және жүктеменің біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.



3.2-сурет - Балтырлық қаңқа

3.2 суретке сәйкес, бұл пациенттің аяғы орнатылған динамикалық дизайн элементі. Платформа жетек механизміне қосылған және дорсифлексияны (аяқты көтеру) және табанды бүгуді имитациялай отырып, жоғары және төмен басқарылатын қозғалыстарды орындай алады. Платформаның беті аяқтың пішініне бейімделген және сырғып кетпейтін жабыны болуы мүмкін. Платформаның қозғалысы сервомотормен басқарылатын кабель арқылы жасалған тарту арқылы басталады. Мұндай іске асыру берілген қозғалыс амплитудасының тегістігі мен дәлдігін қамтамасыз етеді.

3.4 Сервокозғалтқыш таңдау

Бүкіл белсенді жүйенің жүрегі-жоғары айналу моменті мен орналасу дәлдігімен танымал MG сериялы Серам, бірақ қуатты сервомотор. Ол төменгі аяқтың корпусына бекітіледі (әдетте бүйірінде немесе артында) және катушканы оралған кабельмен айналдыру арқылы тартуды басқарады. Сервоның айналу бұрышы 180° жетуі мүмкін, бұл оңалту кезеңіне немесе науқастың жеке ерекшеліктеріне байланысты аяқтың қозғалыс амплитудасын дәл реттеуге мүмкіндік береді. Қозғалтқышты басқару икемді орнатуды қамтамасыз ететін микроконтроллер немесе арнайы блок арқылы жүзеге асырылады. Таңдалған модель TIANKONGRC TD-8120MG моделі, бұл жоғары моментті цифрлық сервокозғалтқыш. Оның айналу бұрышы 180° -қа дейін, ал тарту күші 20 кг·см-ге дейін жетеді. Сервокозғалтқыш PWM сигналымен (500–2500 мкс) басқарылып, жоғары дәлдікпен қозғалыс беру үшін қолданылады. Құрылғының корпусы берік әрі температура мен дірілге төзімді, бұл оны механикалық және робототехникалық жүйелерде кеңінен пайдалануға мүмкіндік береді.

3.3 суреттегі бұл сервокозғалтқыш әсіресе жүктемесі жоғары жобалар үшін тиімді. Оның жоғары тарту күші арқасында ауыр жүктемелерді көтеріп, дәл басқаруды қамтамасыз етеді. Сондықтан бұл құрылғы экзоскелеттерде, реабилитациялық құрылғыларда және өнеркәсіптік автоматтандыру жүйелерінде кеңінен қолданылады. Металл редукторлы құрылымы және сенімді корпус ұзақ мерзімді жұмысқа қолайлы екенін көрсетеді.

TIANKONGRC TD-8120MG сервокозғалтқышы 3 сымды интерфейс арқылы жұмыс істейді: қуат (VCC), жер (GND) және басқару сигналы (PWM). Оны Arduino, ESP32, STM32 сияқты микроконтроллерлермен оңай біріктіруге болады. Қозғалтқыштың тұрақты жұмысы үшін 6–7.4 В тұрақты кернеу қажет. Бұл қозғалтқыштың қарапайымдылығы, қуаты және сенімділігі оны әртүрлі техникалық және медициналық құрылғыларда қолдануға тиімді шешім етеді.



3.3-сурет – Сервокозғалтқыш

TIANKONGRC TD-8120MG сервоқозғалтқышы – бұл жоғары моментті, дәл және сенімді құрылғы, ол көбінесе робототехника, радиобасқарылатын модельдер, және механикалық протездер сияқты жобаларда қолданылады. Оның артықшылығы үлкен жүктемеге төтеп бере алуы және позицияны дәл орындай алу қабілеті. Бұл оны адам денесінің буындарын басқару секілді медициналық реабилитация құрылғылары үшін өте ыңғайлы етеді. Жоғары моменттің арқасында серво қозғалтқыш табан платформасын немесе экзоскелеттің басқа да бөліктерін қажетті бұрышқа дейін тегіс әрі сенімді түрде жылжыта алады.

Сервоқозғалтқыштың негізгі техникалық артықшылықтарының бірі оның металл тісті механизмі, бұл ішкі құрылымның ұзақ мерзімді тозуға төзімділігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, цифрлық басқару алгоритмдері арқасында ол дірілсіз және реакция уақыты аз қозғалыс бере алады, бұл оналту құрылғыларында адамның қозғалысын дәл қайталау үшін өте маңызды. Мұндай мүмкіндіктер құрылғының механикалық тиімділігін ғана емес, сонымен бірге науқастың емделу барысын да жеңілдетеді.

TIANKONGRC TD-8120MG сервоқозғалтқышын Arduino сияқты микроконтроллермен біріктіріп, қашықтан басқару, тактильдік жауап беру, немесе программаланатын траектория сынды күрделі функцияларды жүзеге асыруға болады. Бұл оны тек қарапайым қозғалыс жүйесі емес, интеллектуалды басқару жүйесінің ажырамас бөлігі етеді. Сонымен бірге, оның жинақы өлшемі мен монтаждауға қолайлы пішіні оны әртүрлі құрылымдарға оңай ендіруге мүмкіндік береді.

Беріліс элементі ретінде беріктігі жоғары балық аулау сызығы қолданылады болат немесе синтетикалық (мысалы, Кевлар жіпі), ол аз созылу және жоғары тозуға төзімділікке ие. Сызық сервомотор катушкасын платформаның жылжымалы бөлігімен байланыстырады. Катушканы айналдырған кезде балық аулау сызығы тартылады немесе әлсірейді, бұл буында қозғалыс жасайды. Бұл механизм құрылғының минималды салмағымен және аяқтың орналасуының жоғары дәлдігімен максималды икемділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.



3.4-сурет – трос

3.4 суретте бұл трос ретінде қолданылатын нейлон немесе фторопластик (PTFE) негізіндегі синтетикалық талшық, ол реабилитациялық құрылғылар мен жеңіл механикалық жүйелерде қозғалыс беру элементі ретінде қолданылады. Мұндай тростар жоғары беріктікке, икемділікке және тозуға төзімділікке ие, сонымен қатар созылғыштығы аз болғандықтан қозғалысты дәл жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл қасиеттер оларды экзоскелет құрылымдарында, әсіресе сервоқозғалтқыш пен табан платформасы арасындағы механикалық байланыс үшін өте тиімді етеді.

Бұл трос материалының тағы бір артықшылығы — оның жеңілдігі мен иілгіштігі, бұл тросты тар және күрделі геометриялы кеңістікте жүргізуге мүмкіндік береді. Ол үйкеліс күші төмен болғандықтан, ролик немесе бағыттаушы элемент арқылы өткенде энергия жоғалтпай, қозғалыс траекториясын сақтап тұрады. Сонымен қатар, бұл трос ылғалға, температура өзгерісіне және ультракүлгін сәулеге төзімді, сондықтан оны ұзақ уақыт бойы сенімді қолдануға болады.

Жобада бұл трос серводвигательдің айналмалы қозғалысын сызықтық тарту күшіне айналдыру үшін қолданылады. Ол табан платформасына бекітіліп, серво бұрышымен сәйкес келетін қозғалысты орындайды. Осылайша, пациенттің аяғын көтеру немесе түсіру механизмі жеңіл әрі қауіпсіз түрде іске асады. Бұл шешім бүкіл құрылғыны қарапайым әрі тиімді етіп көрсетеді.

3.5 суретте табан панелінің сыртқы жағында сызық өтетін металл шпилька орналасқан. Ол сызықтан тартылыс күші платформаның қозғалысына дәл берілетіндей етіп күш қолдану векторын өзгерту арқылы бағыттаушы түйін рөлін атқарады. Бұл инженерлік шешім түйісу нүктесінде үйкеліс пен тозуды болдырмайды, сонымен қатар аяқтың әртүрлі бұрыштарында жұмысты тұрақтандырады.



3.5-сурет – Түйреуіш орналасу

3.6 суретте пациенттің аяғын қауіпсіз және сенімді бекіту үшін "велкро" (Velcro) түріндегі бекіткіштермен жасалған реттелетін бекіткіш белдіктер қолданылады. Белдіктер білікке де, аяққа да орналастырылады, бұл жұмсақ тіндерге қан ағымы мен қысымын шектемей қатаң бекітуді қамтамасыз етеді. Бұл қозғалыс траекториясын дәл қайталау және механотерапия сеансы кезінде аяқтың сырғып кетуіне жол бермеу үшін өте маңызды.

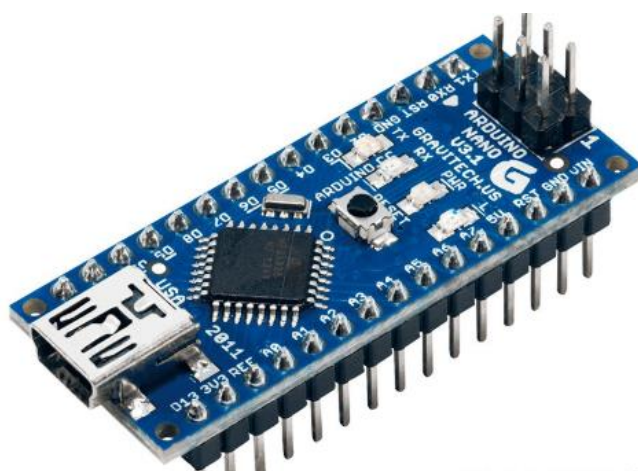


Сурет 3.6 – Бекіту белдіктері

3.5 Микроконтроллер талдау

3.7 суреттегі Arduino Nano бұл жобада Тобықты қалпына келтіруге арналған роботты құрылғының негізгі басқару блогы ретінде қолданылатынын аяқ микроконтроллер. Ол atmega328p чипіне негізделген және шағын өлшемдермен ерекшеленеді, бұл оны ендірілген жүйелер үшін тамаша шешім етеді. 14 Сандық шығыс кірісі мен 8 аналогтық кірісі бар контроллер сервомоторларды, сенсорларды және пайдаланушы интерфейстерін қоса алғанда, әртүрлі атқарушы және сенсорлық элементтерді басқара алады.

Бұл жобада Arduino Nano аяқ платформасын жылжытуға жауапты сервомотор үшін басқару сигналын қалыптастыруды қамтамасыз етеді. Импульстің ені модуляциясы (PWM) арқылы аяқтың берілген қозғалыс амплитудасына сәйкес келетін сервомотордың айналу бұрышы беріледі. Сондай-ақ, Nano жылдамдығын, кідіріс уақытын, қайталау санын реттеуге бағдарламалануы мүмкін, бұл оңалтудың нақты кезеңдеріне икемді орнатуды қамтамасыз етеді.



Сурет 3.7 – Arduino Nano микроконтроллері

Arduino IDE ортасы арқылы бағдарламалаудың қарапайымдылығымен және кітапханалардың кең базасымен микроконтроллер жүйенің функционалдығын тез бейімдеуге және кеңейтуге мүмкіндік береді. Оның модамдылығы, энергия тиімділігі және модульдермен кең үйлесімділігі оны құрылымның ажырамас бөлігіне айналдырады.

3.1 – кесте - Arduino Nano микроконтроллері

Параметр	Мәні
Микроконтроллер	ATmega328P
Такт жиілігі	16 МГц
Қоректендіру (USB / сыртқы көз)	5 В / 6–12 В
Сандық енгізу/шығару порттары	14 (6-уы ШИМ-мен жұмыс істей алады)
Аналогтық кірістер	8 (10 биттік дәлдікпен)
Flash жады	32 КБ (2 КБ – жүктеушіге арналған)
Жедел жады (SRAM)	2 КБ
Тұрақты жады (EEPROM)	1 КБ
Интерфейстері	UART, I2C, SPI
USB қосқыш түрі	mini-USB
Өлшемдері	~18 × 45 мм
Салмағы	Шамамен 7 г
Бағдарламалау ортасы	Arduino IDE
Үйлесімділігі	Windows, macOS, Linux

Arduino Nano тақшасы өзінің компакттылығымен, қарапайым интерфейсімен және модульдік икемділігімен көптеген инженерлік және медициналық құрылғыларда қолдануға тиімді. Оның ұзындығы шамамен 4.5

см, ені 1.8 см ғана, сондықтан ол киілетін технологиялар, шағын өлшемді оңалту құрылғылары, және тесттік макеттер үшін таптырмас шешім болып табылады. Nano-ны басқа құрылғылармен (мысалы, сервомотор, датчик, дисплей, Bluetooth модулі т.б.) оңай біріктіруге болады, себебі оның пиндері стандартталған және кең таралған кітапханалар арқылы бағдарламаланады.

Arduino Nano реабилитациялық құрылғыларды, экзоскелеттерді, сервоқозғалтқыштармен жұмыс істейтін жүйелерді басқаруға өте қолайлы. Оның 14 сандық және 8 аналогтық пині түрлі датчиктерді, жетектерді, батырмалар мен дисплейлерді қосуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, ол ШИМ (PWM) сигналдарын генерациялап, сервоқозғалтқыштарды басқару үшін тікелей пайдалануға болады. Сонымен қатар, Arduino IDE платформасы арқылы оңай бағдарламаланады және оны үйрену мен қолданысқа енгізу тез әрі тиімді.

Тағы бір маңызды артықшылығы Arduino Nano төмен кернеуде (5В) жұмыс істейді және қуатты үнемдейді, бұл оны автономды немесе батареямен жұмыс істейтін құрылғыларда қолдануға мүмкіндік береді. Реабилитациялық құрылғыларда бұл өте маңызды, себебі құрылғы науқастың денесіне орнатылады немесе үнемі қозғалыста болады. Мысалы, тобық экзоскелетінде Arduino Nano табан платформасының қозғалысын басқару, күйді дисплейге шығару және басқару батырмасына реакция беру сияқты бірнеше функцияны бір уақытта орындай алады.

Сонымен қатар, Arduino экожүйесі ашық кодты болғандықтан, пайдаланушы қолданыстағы жобаларды еркін өзгертіп, өз қажеттілігіне бейімдей алады. Интернетте көптеген дайын кітапханалар мен сызбалар болғандықтан, құрылғыны үй жағдайында да оңай бағдарламалауға болады. Осы артықшылықтардың барлығы Arduino Nano-ны реабилитациялық технологияларды прототиптеу мен коммерциялық өнімдерге енгізудің ең ыңғайлы шешімдерінің бірі етеді.

3.8 суретте тағы бір қолданылған құрылғы LCD 16x2 дисплейі Arduino және басқа микроконтроллерлермен бірге жиі қолданылатын қарапайым әрі тиімді ақпараттық көрсету құрылғысы. "16x2" атауы оның 16 символдан тұратын 2 қатардан тұратынын білдіреді. Яғни, бұл дисплей бір уақытта 32 таңбаға дейінгі мәтінді немесе деректі көрсетуге мүмкіндік береді. Мұндай дисплей реабилитациялық құрылғыларда, робототехникада, ауа райы станцияларында және әртүрлі өлшеу құралдарында қолданылады.

Бұл дисплейдің артықшылығы — ақпаратты нақты әрі оқуға ыңғайлы түрде көрсетуі. Мысалы, реабилитациялық құрылғыда пациенттің жаттығу уақыты, қозғалыс бұрышы, сеанс саны немесе "бастау/тоқтату" режимі сияқты мәліметтерді көрсетіп отыруға болады. LCD 16x2 дисплей I2C модулі арқылы Arduino-ға 4 сыммен оңай қосылады: 2-сі қуат үшін (VCC, GND), ал қалған 2-сі басқару үшін (SDA, SCL). Бұл байланыс дисплеймен жұмыс істеуді жеңілдетіп, көптеген сымдарды үнемдеуге мүмкіндік береді.



3.8-суретте - LCD 16x2

LCD 16x2 дисплейінің тағы бір артықшылығы — бағдарламалау қарапайымдылығы. Arduino IDE арқылы арнайы LiquidCrystal_I2C немесе LiquidCrystal кітапханаларын пайдаланып, дисплейге мәтін шығару бірнеше жол кодпен-ақ жүзеге асады. Экранның жарықтылығы мен контрастын да реттеуге болады. Бұл дисплей ықшамдылығы, төмен энергия тұтынуы және сенімділігімен портативті медициналық құрылғыларда кеңінен қолдануға өте қолайлы.

3.9 суретте BMS (Battery Management System) немесе Аккумуляторды басқару жүйесі бұл литий-ион немесе литий-полимер аккумуляторларын қауіпсіз, тұрақты және тиімді пайдалануға арналған электронды басқару модулі. Бұл плата аккумулятордың кернеуін, тогын, температураны және заряд деңгейін бақылап, оны артық зарядтаудан, толық разрядтан, қысқа тұйықталудан немесе қызып кетуден қорғайды. Әдетте, реабилитациялық құрылғыларда, портативті электроникада және автономды жүйелерде сенімді қуат көзі маңызды болғандықтан, BMS платасы міндетті компонент болып саналады.

BMS плата аккумулятор секцияларын теңгерімдеп (балансировка) отыру арқылы әрбір ұяшықтың кернеуін бір деңгейде ұстайды. Бұл аккумулятордың қызмет ету мерзімін ұзартып, жалпы жүйенің өнімділігін жақсартады. Мысалы, үш ұяшықты (3S) аккумуляторда BMS әрбір ұяшықтың кернеуін жеке бақылай отырып, бүкіл батарея блогының қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етеді. Кейбір BMS платаларында заряд/разряд тогының шегін орнату, термодатчикпен біріктіру, немесе балансировка схемалары бар, бұл жүйенің толық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.



3.9-сурет - Аккумуляторды басқару жүйесі

Мұндай плата реабилитациялық экзоскелеттерде, тасымалданатын медициналық құрылғыларда, немесе моторлы жүйелерде қолданылады. Себебі бұл құрылғылардың үнемі адам денесімен байланыста болуы қауіпсіздік талаптарын күшейтеді. BMS қолдану құрылғының автономды жұмысын тұрақты етуге, артық қызу немесе тоқ жүктемесінен сақтандыруға және батареяның ұзақ әрі тиімді қызмет етуіне кепіл болады.

BMS платасының тағы бір маңызды қызметі реалтаймда мониторинг жасау. Ол аккумулятордың әрбір ұяшығындағы кернеуді, бүкіл батарея тізбегіндегі тоқты және температураны үнемі бақылап отырады. Бұл деректер негізінде плата қажетті жағдайда зарядтауды автоматты түрде тоқтатып, немесе жүктемені ажыратады, осылайша батареяны зақымданудан қорғайды. Қазіргі заманғы BMS жүйелерінде микроконтроллер орнатылып, ол Bluetooth немесе UART интерфейсі арқылы басқа құрылғымен байланыса алады. Бұл мүмкіндік арқылы пайдаланушы батарея күйін смартфон немесе компьютер арқылы бақылай алады.

Сонымен қатар, кейбір BMS платаларында балансировка функциясы іске қосылған, яғни әрбір аккумулятор ұяшығы бірдей заряд деңгейінде ұсталып отырады. Бұл өте маңызды, себебі егер ұяшықтардың бірі басқа ұяшықтарға қарағанда ертерек зарядталса немесе разрядталса, бүкіл батарея блогының сенімділігі төмендейді. Балансировка процесі батареяның сыйымдылығын толығымен пайдаланып, оның жалпы өмірлік циклін ұзартады.

Жалпы, BMS плата реабилитациялық, медициналық, және киілетін құрылғыларда қауіпсіз және сенімді қуат көзімен жұмыс істеу үшін өте маңызды. Онсыз литий-ионды аккумуляторлар қауіпті болуы мүмкін, себебі олар шамадан тыс зарядталғанда немесе қатты разрядталғанда қызып, тіпті

жарылуы мүмкін. Сол себепті BMS жүйесін қолдану жобаның қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін басты шешімдердің бірі.



Сурет 3.10 - Литий-ионды аккумулятор

3.10 суретке сәйкес, литий-полимер (Li-Po) және литий-ион (Li-ion) аккумуляторлар қазіргі заманғы портативті құрылғыларда, соның ішінде медициналық және реабилитациялық жүйелерде ең көп қолданылатын қуат көздерінің бірі. Олардың басты артықшылығы жоғары энергия тығыздығы, жеңілдігі, және компактты өлшемі. Мұндай аккумуляторлар ұзақ уақыт тұрақты кернеу беру арқылы құрылғының автономды жұмысын қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе экзоскелет, троспен басқарылатын жүйе сияқты адамға тікелей орнатылатын құрылғыларда өте маңызды.

Олардың стандартты кернеуі 3.7 В болады, ал сыйымдылығы қолдану саласына қарай таңдалады. Қарапайым Arduino жобаларында көбіне 1100–2200 мА·сағ сыйымдылықтағы нұсқалар жеткілікті. Бұл аккумуляторлар құрылғыны бірнеше сағат бойы үздіксіз жұмыс істете алады. Сонымен қатар, олар жоғары жүктемелерге шыдай алады, яғни серводвигательдер, датчиктер және дисплейлер бір мезгілде жұмыс істесе де, тұрақтылық сақталады.

Мұндай аккумуляторларды зарядтау үшін TP4056 атты арнайы модуль қолданылады. Бұл модуль аккумуляторды micro-USB арқылы зарядтауға мүмкіндік береді және шамадан тыс зарядтаудан немесе толық разрядтан қорғайды. TP4056 платасы шағын әрі арзан шешім, сондықтан ол үй жағдайында жасалатын жобаларға өте ыңғайлы. Бұл модульдің көмегімен құрылғыны USB порттан немесе PowerBank арқылы оңай қуаттандыруға болады, ал батареяның күйін қауіпсіз түрде басқаруға толық мүмкіндік береді.

4 Оңалтуға арналған роботтың бағдарламалық баптауы

4.1 Arduino IDE бағдарламалық жабдықтамасы

Arduino IDE бұл Arduino тақшаларын бағдарламалауға арналған ресми орта. Ол пайдаланушыға код жазуға, тексеруге және тікелей Arduino тақшасына жүктеуге мүмкіндік береді. Бағдарламаның интерфейсі қарапайым, тіпті алғаш рет қолданушылар үшін де түсінікті. Кодтар негізінен C/C++ тіліне ұқсас синтаксиспен жазылады және микроконтроллермен жұмыс істеуді жеңілдететін көптеген дайын кітапханалармен жабдықталған.

Arduino IDE көмегімен пайдаланушы USB арқылы тақшаны компьютерге қосып, «Verify» батырмасымен кодтың дұрыстығын тексереді, ал «Upload» батырмасы арқылы оны тақшаға жібереді. Бағдарламада кең таралған Arduino тақшалары (Nano, Uno, Mega, т.б.) толық қолдау табады және «Tools» мәзірі арқылы қажетті тақша мен COM порт оңай таңдалады. Сонымен қатар, бағдарламада көптеген мысал жобалар бар, оларды ашып, өзгертіп немесе бірден іске қосуға болады.

Arduino IDE ашық бастапқы кодты бағдарлама, сондықтан ол Windows, macOS және Linux жүйелерінде жұмыс істей береді. Оның негізгі артықшылықтарының бірі — үлкен пайдаланушы қауымдастығы мен кең көлемдегі оқулықтар мен кітапханалар. Бұл бағдарламаны пайдалану арқылы қарапайым LED жыпылықтатудан бастап, күрделі сенсорлар мен роботтарды басқаруға дейінгі жобаларды жасауға болады.

```
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

`#include <Servo.h>`, `#include <Wire.h>` және `#include <LiquidCrystal_I2C.h>` директивалары — бұл Arduino IDE бағдарламасында қажетті кітапханаларды қосудың жолы. `Servo.h` кітапханасы сервомоторларды басқаруға мүмкіндік береді, яғни бұрыштық қозғалысты нақты әрі дәл орындауға арналған. `Wire.h` кітапханасы — Arduino-ның I2C (екі сымды) байланыс протоколын қолдануға арналған, бұл әртүрлі құрылғылармен, соның ішінде дисплеймен тиімді байланыс орнатуға жол ашады. Ал `LiquidCrystal_I2C.h` кітапханасы 16x2 LCD дисплейін I2C интерфейсі арқылы басқаруға арналған, бұл сым санын азайтып, экранға мәтін шығаруды оңайлатады.

```
Servo myServo;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // LCD мекенжайы 0x27 болуы
мүмкін (кейде 0x3F)
int lifts = 0;
int angleLow = 20; // Төменгі бұрыш
```

```
int angleMid = 90;    // Ортаңғы бұрыш
```

Бұл бөлімде құрылғының негізгі элементтерін сипаттайтын объектілер мен айнымалылар анықталған. Servo myServo; жолы сервомоторды басқаруға арналған myServo атты объектіні жасайды. Ал LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); LCD дисплеймен жұмыс істеуге арналған объектіні анықтайды, мұнда 0x27 дисплейдің I2C мекенжайы, ал 16 мен 2 дисплейдің 16 баған мен 2 жолдан тұратынын көрсетеді (кейде I2C адресі 0x3F болуы мүмкін). int lifts = 0; қозғалыстар санын санауға арналған айнымалы, ол серво қанша рет қозғалғанын тіркейді. angleLow және angleMid айнымалылары сервомотордың бұрылу бұрыштарын анықтайды: angleLow = 20 төменгі еңкею бұрышы болса, angleMid = 90 бастапқы (бейтарап) қалыптағы бұрыш.

```
void setup() {  
    myServo.attach(6);  
    lcd.begin();  
    lcd.backlight();  
  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Басталды...");  
    delay(2000);  
    lcd.clear();  
}
```

Бұл setup() функциясы Arduino құрылғысы қосылған кезде бір рет орындалады және бастапқы орнатуларды жүргізеді. myServo.attach(6); командасы сервомоторды Arduino тақшасының 6-пиніне байланыстырады, осылайша оны басқаруға мүмкіндік береді. lcd.begin(); арқылы LCD дисплей іске қосылады, ал lcd.backlight(); дисплейдің артқы жарығын қосады. Содан кейін, lcd.setCursor(0, 0); дисплейдің бірінші жолына курсорды орнатып, lcd.print("Басталды..."); деген жазуды шығарады. Бұл — құрылғы іске қосылғанын білдіретін хабарлама. delay(2000); — 2 секунд күту, хабарлама көрінуі үшін, одан кейін lcd.clear(); дисплейді тазалап, жаңа ақпарат шығаруға дайындайды.

```
void loop() {  
    // Төмен бұрышқа бұру  
    myServo.write(angleLow);  
    lifts++; // Көтерілім саны артады  
    updateLCD(angleLow, lifts);  
    delay(1000);  
    // Орташа қалыпқа оралу  
    myServo.write(angleMid);  
}
```



```

    updateLCD(angleMid, lifts);
    delay(1000);
}

```

Бұл loop() функциясы Arduino-да үздіксіз қайталанып орындалатын негізгі бөлік, яғни құрылғының жұмыс циклі. Алдымен myServo.write(angleLow); командасы сервомоторды төмен бұрышқа (мысалы, 20°) бұрады, бұл қозғалыс реабилитациялық жаттығудағы аяқтың бүгілу қимылын имитациялауы мүмкін. Бұдан кейін lifts++ арқылы көтерілім саны бірлікке артады. updateLCD(angleLow, lifts); дисплейге ағымдағы бұрыш пен қозғалыс санын шығарады. delay(1000); 1 секунд үзіліс беріп, қозғалыстың орындалуына уақыт береді.

Содан кейін сервомотор myServo.write(angleMid); командасы арқылы ортаңғы қалыпқа (90°) қайта оралады. Тағы да updateLCD(angleMid, lifts); көмегімен дисплей жаңартылып, ағымдағы бұрыш көрсетіледі. Соңында delay(1000); арқылы 1 секунд үзіліс жасалады. Бұл цикл шексіз қайталана береді, яғни құрылғы автоматты түрде қозғалыс жасап, санап отырады.

```

void updateLCD(int angle, int count) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Бұрыш: ");
    lcd.print(angle);
    lcd.print((char)223); // Градус белгісі
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Көтерілім: ");
    lcd.print(count);
}

```

updateLCD() функциясы LCD дисплейдегі ақпаратты жаңартуға арналған. Бұл функция екі параметр қабылдайды:

- d) angle — сервомотордың бұрылу бұрышы
- e) count — орындалған қозғалыс (көтерілім) саны.

Алдымен lcd.clear(); дисплейді тазартады, яғни бұрынғы мәліметтер өшіріледі. lcd.setCursor(0, 0); дисплейдің бірінші жолының басына курсор орнатады. Одан кейін "Бұрыш: " мәтіні көрсетіледі және lcd.print(angle); арқылы нақты бұрыштық мән жазылады. (char)223 — бұл градус белгісі (°), ол бұрыш екенін нақтылайды.

Келесі жолда, lcd.setCursor(0, 1); арқылы курсор екінші жолдың басына орнатылады. "Көтерілім: " деген мәтін шығарылады және lcd.print(count); арқылы қозғалыс саны көрсетіледі. Осылайша, экранда әр қозғалыс сайын қозғалыс бұрышы және жалпы көтерілім саны нақты көрініп тұрады. Бұл

пайдаланушыға құрылғының ағымдағы жұмыс күйін бақылауға мүмкіндік береді.

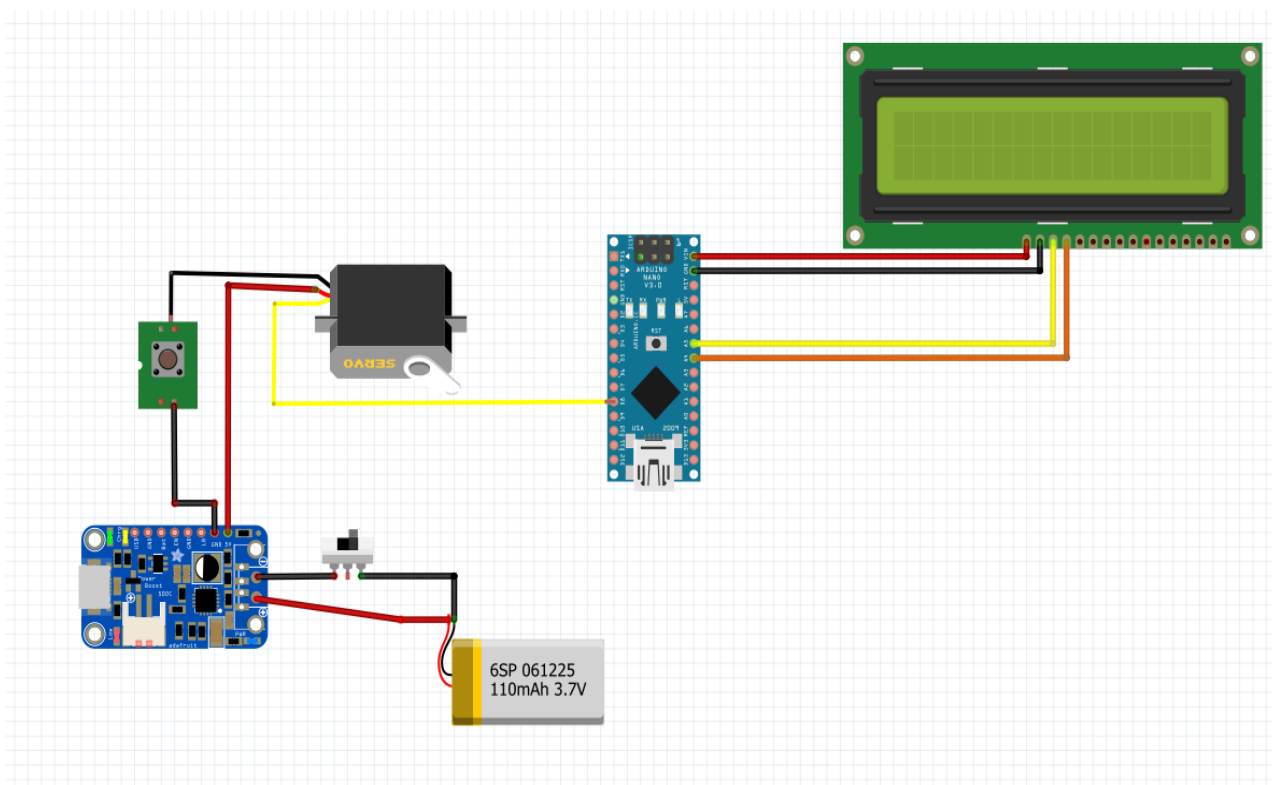
4.2 Жүйенің функционалды бөлімі

Жалпы, инсульт қозғалыс функциясының бұзылуына алып келетін негізгі себептердің бірі болып табылады. Сондықтан мұндай науқастардың қозғалыс мүмкіндігін қалпына келтіруді дер кезінде бастау өте маңызды. Алайда инсульттен кейін тізе айналасындағы бұлшықеттердің белсенділігі төмендеп, қажетті қозғалыс күшін бере алмайды, бұл ерте оңалту шараларын қиындатады. Осы мәселені шешу үшін ЭМГ сигналына негізделген экзоскелет жүйесін ұсынды. Бұл жүйе арнайы сенсорлар арқылы бұлшықет белсенділігін тіркеп, Калман сүзгісі арқылы өңделген ЭМГ сигналы негізінде экзоскелетті автономды түрде басқарады. Сонымен қатар, оңалту процесін тиімді әрі тартымды ету үшін жүйеге ойын элементтері енгізілген. Алғашқы сынақтар барысында 6 сау қатысушы экзоскелетті ЭМГ сигналымен сәтті басқарғаны және ойын арқылы оңалтудың тиімділігі артқаны анықталды. Жүйенің басты артықшылықтарының бірі оны қолданудың қарапайымдылығы: оңалту процесін бастау үшін небәрі 72 секунд жеткілікті, ал сигналды өңдеу кешігуі 64 мс, ал экзоскелеттің толық жауап беру уақыты 110 мс-ке дейін қысқартылған.

Құрылғыны үй жағдайында, маманның көмегінсіз пайдалану мүмкіндігі инсульт алған науқастар үшін оңалтудың бастапқы кезеңінде терапияның тиімділігі мен қарқындылығын айтарлықтай арттыруға жол ашады. Жүруді қалпына келтіруге арналған роботтарды жетілдіру үшін қалыпты жүрудің нейро-механикалық динамикасын және оны басқару тетіктерін терең түсіну аса маңызды. Бұрын жүргізілген зерттеулер адамның жүруі белгілі бір ырғаққа бағынатынын және бұл қозғалыстар сыртқы механикалық әсерлермен үндесе алатынын көрсеткен. Осыған сүйене отырып, зерттеушілер жамбас аймағына арналған экзоскелетті пайдалана отырып, адамның қозғалыс ырғағын зерттеген. Экзоскелет арқылы жамбасқа периодты түрде сыртқы механикалық күштер түсіріліп, олар адамның табиғи жүріс ырғағына жақын етіп таңдалған. Зерттеу нәтижесінде адамдар бұл әсерлерге бейімделіп, өз жүріс ырғақтарын сол күштермен синхрондағаны байқалды. Айта кетерлік жайт бұл синхрондау екі түрлі қадам фазасында жүзеге асқан, ал бұрын тобық буынына қатысты жүргізілген зерттеулерде үйлесу тек бір фазада ғана байқалған болатын.

Төмендегі схема Arduino Nano негізінде құрылған автономды басқару жүйесі, онда серводвигатель, I2C арқылы қосылған LCD дисплей, қуат көзі, батырма және зарядтау модулі қолданылады. Жүйенің негізгі элементі Arduino Nano микроконтроллері, ол сервоқозғалтқышты басқарады және дисплейге қажетті ақпаратты шығарады. LCD дисплей Arduino-ға екі сымды I2C интерфейсі (SDA және SCL) арқылы жалғанған, бұл байланыс сымдарын азайтып, жүйенің ықшам болуына мүмкіндік береді. Серводвигатель Arduino-ның сандық шығысына (мысалы, D9 пиніне) жалғанған және ол бұрыштық

қозғалысты қамтамасыз етеді, мысалы, реабилитациялық құрылғының платформасын жоғары немесе төмен жылжыта алады.



4.1-сурет – Жүйенің функционалды схемасы

4.1-суретте басқару жүйесінде қолданушы әрекетін анықтайтын батырма бар. Бұл батырма арқылы оңалту сеансын бастауға немесе тоқтатуға болады. Барлық құрылғылардың қоректенуі литий-полимер аккумуляторы арқылы жүзеге асады, ол TP4056 модуліне жалғанған. Бұл модуль аккумуляторды қайта зарядтап, тұрақты кернеуді барлық құрылғыға жеткізеді. Қуатты қосу немесе өшіру үшін қарапайым қосқыш (тумблер) орнатылған, ол жүйенің автономды жұмысын басқаруға мүмкіндік береді.

Сервоқозғалтқыш пен LCD дисплей TP4056 модулінің қуат шығарына (VOUT+) және GND-ге қосылады, осылайша бүкіл жүйе аккумулятордан қоректенеді. Жүйе қосылған кезде Arduino Nano іске қосылып, дисплейде бастапқы ақпарат көрсетіледі, ал батырма арқылы берілген пәрмен бойынша сервоқозғалтқыш қажетті қозғалысты орындайды. Бұл жүйе ықшам әрі жеңіл басқарылатын болғандықтан, оны портативті медициналық құрылғыларда, атап айтқанда, тобық немесе аяқ-бас реабилитациясын автоматтандыру үшін қолдануға өте ыңғайлы.

Құрылғының негізгі қозғалтқыш компоненттері ретінде үш электрлік сызықтық жетек пайдаланылады. Бұл жетектер тобық буынында дорсифлексия, плантарфлексия, инверсия және эверсия сияқты негізгі қозғалыс түрлерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Әрбір жетек балтыр мен табанға орнатылған платформалармен сфералық және әмбебап шарнирлер

арқылы жалғанған, бұл құрылым қозғалыс траекториясының нақтылығын және еркіндігін қамтамасыз етеді.

4.3 Болашақ даму бағыттары

Троспен басқарылатын тобық буынын оңалту роботы – оңалту үдерісін автоматтандыру мен тиімділігін арттыруға бағытталған перспективалы шешім. Бұл жүйе қазіргі таңда прототип деңгейінде сынақтан өткізіліп жатқанымен, болашақта оны жетілдіру және кеңейту үшін бірнеше бағыттар бойынша жұмыс жүргізуге болады.

Құрылғыны бұлшықет сигналдары (ЭМГ), қозғалыс сенсорлары (гироскоп, акселерометр) немесе қысым датчиктерімен біріктіре отырып, нейрожетек немесе кері байланыс жүйесімен жабдықтау мүмкін. Бұл тәсіл пациенттің нақты жағдайына байланысты қозғалыс параметрлерін (амплитуда, жылдамдық, тарту күші) автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде оңалту процессі анағұрлым жекелендірілген және қауіпсіз болады.

Науқастың оңалту барысын үздіксіз бақылап, оның прогресіне қарай жаттығу күрделілігін автоматты түрде арттыратын машиналық оқытуға негізделген алгоритмдерді енгізуге болады. Мысалы, жүйе әр сессиядан кейін қозғалыс ауқымының динамикасын бағалап, келесі жаттығуды бейімдей алады.

Құрылғыны Wi-Fi немесе Bluetooth модулі арқылы интернетке қосып, оңалту барысын дәрігердің немесе физиотерапевтің қашықтан бақылауына беру мүмкіндігі. Бұл әсіресе шалғайда тұратын немесе үй жағдайында жаттығатын пациенттер үшін тиімді. Жүйеге мобильді қосымша қосу арқылы, жаттығу нәтижелері график түрінде көрсетіліп, күнделік түрінде сақталуы мүмкін.

Өртүрлі аяқ өлшемдері мен клиникалық жағдайларға бейімделу үшін құрылғының модульдік құрылымын жетілдіру қажет. Болашақта бір құрылғыны тек тобық буынына емес, сонымен қатар тізе немесе жамбас буындарына бейімдеу үшін әмбебап экзоскелеттік платформа әзірлеу мүмкіндігі бар.

Зертханалық прототипті коммерциялық өнімге айналдыру үшін құрылғыны стандартталған корпуспен, қауіпсіздік сертификаттарымен, және платформалық техникалық қолдаумен қамтамасыз ету қажет. Бұл медициналық мекемелерде құрылғыны кеңінен енгізуге мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жобада тобық буынының қозғалыс функцияларын қалпына келтіруге арналған троспен басқарылатын реабилитациялық құрылғыны жобалау және прототипін жасау қарастырылды. Жүйе Arduino Nano микроконтроллері, серводвигатель, LCD дисплей және басқа да электрондық компоненттер негізінде жүзеге асырылып, пациенттің табан қозғалысын дәл және қауіпсіз басқаруға мүмкіндік береді. Жобада 3D басып шығару технологиясы қолданылып, құрылғының анатомиялық тұрғыда тиімді әрі эргономикалық болуы қамтамасыз етілді. Құрылғы пациенттің қозғалыс бұрышын және орындалған көтерілім санын көрсету арқылы оңалту процесін бақылауға қолайлы жағдай жасайды.

Жасалған құрылғының басты артықшылықтары ықшамдылығы, қолжетімділігі, модульдік құрылымы және автономды жұмыс істей алуы. Арнайы медициналық жабдықтарға балама ретінде бұл жүйе оңалту процесін үй жағдайында да тиімді жүргізуге мүмкіндік береді. Қарапайым интерфейс пен автоматтандырылған қозғалыс арқасында науқасқа жүктемені реттеп, ерте оңалтуды бастау жеңілдейді. Сонымен қатар, құрылғыны жетілдіру арқылы оны түрлі қозғалыс бұзылыстарына бейімдеуге және қосымша функциялармен толықтыруға болады.

Жалпы алғанда, бұл жоба медициналық реабилитация саласында маңызды қолданбалы шешім болып табылады. Ол робототехника мен биомедициналық инженерияны біріктіру арқылы денсаулық сақтау саласына қолжетімді, қауіпсіз және тиімді құрал ұсынады. Құрылғы әрі қарай ғылыми зерттеулерге, клиникалық сынақтарға және өндірістік іске асыруға бейімделе алады. Осы бағытта жұмыстар жалғасатын болса, жоба тек зертханалық деңгейде ғана емес, нақты медициналық тәжірибеде де кеңінен қолданылатын инновациялық өнімге айналмақ.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Серғазин Г.; Жетенбаев Н.; Тұрсынбаева Г.; Узбекбаев А.; Сауна А.; Нұрғизат Е, Нусибалиева А. 3dofs Көмегімен Жаңа Тобық Экзоскелетін Жобалау, Модельдеу және Функционалдық Сынау. Датчиктер 2024, 24, 6160. <https://doi.org/10.3390/s24196160>
2. Арьков В.В., Бадтиева В.А., Семенова Е.С. Этапная реабилитация пациентов с травмами голеностопного сустава. — Москва: РМАПО, 2015. — 38 с.
- 3 Ормед. Аппарат для пассивной механотерапии голеностопного сустава ORMED FLEX-02. – Техникалық сипаттамалар мен қолдану нұсқаулығы. – ormed.ru
- 4 Қойшыбай М.Ш., Алдамжаров Қ.М. Медициналық техника және оңалту технологиялары. — Алматы: Эверо, 2020. — 232 б.
- 5 Banala S.K., Kim S.H., Agrawal S.K., Scholz J.P. Robot assisted gait training with active leg exoskeleton (ALEX). IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2009. — 17(1): 2–8.
- 6 Arduino.cc – Arduino Nano Documentation — <https://www.arduino.cc>
- 7 Petru Eduard. Using LCD 16x2 with I2C Module in Arduino Projects. — Arduino Projects Hub, 2021. — <https://create.arduino.cc/projecthub>
- 8 Горохов А.А. Программирование Arduino на языке C/C++. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 320 с.
- 9 Tiankong RC. High-Torque Servo Motor TD-8120MG Specifications. — <https://www.tiankongrc.com>
- 10 Zatsiorsky V.M., Prilutsky B.I. Biomechanics of Skeletal Muscles. — Human Kinetics, 2012. — 400 p.
- 11 Романова И.М., Попов С.А. Современные подходы в нейрореабилитации. — Журнал "Медицинская техника", №4, 2020. — С. 45–51

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

7M07107 – «Робототехника және мехатроника» мамандығының студенті

Мадихов Самғардың
Магистрлік диссертациясы

Тақырыбы: «Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу»

Әзірленген:

а) графикалық бөлімі 2 парак

б) түсіндірме жазбасы 4 бетте

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Мадихов Самғардың магистрлік диссертациясы «Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу» атты тақырыпқа арналған.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мақсаты - адамдарға жарақаттан немесе операциядан кейін аяқтың қозғалғыштығын қалпына келтіруге көмектесетін арнайы робот жасау. Мұндай робот - сынуы, созылуы немесе insult алған адамдарға қайта оңалту үшін қажет.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы робот троспен жұмыс істейді-бұл аяқты дәл және дәл жылжытатын арнайы леска. Бұл адамның өзі әлі аяғын жақсы қозғалта алмаған кезде емдік жаттығулар жасауға көмектеседі. Құрылғыны әр пациентке ыңғайлы және қауіпсіз етіп реттеуге болады. Жұмысқа қатысты ғылыми мақала «Вестник КазАТК» ғылыми журналына жарияланған және «Фараби әлемі» халықаралық ғылыми конференциясына жарыққа шықты.

Жұмыс барысында Solidworks, Autocad, Arduino IDE, Matlab құралдары қолданылған. Макеттің негізгі компоненттері – Arduino NANO микроконтроллері, трос, сервожетектер болып табылады.

Бірінші бөлімде тобық буынын оңалтуға арналған роботтарға ғылыми-техникалық шолу жасалынды.

Екінші бөлімде тобық буынын оңалтуға арналған роботтың жұмыс жасауы сипатталды.

Үшінші бөлімде техникалық шешім қарастырылды. Макеттің 3Д сұлбасы жобаланып, макет құрастырылды. Макетке эксперимент жасалған. Жұмыс макетіне сервожетектің жұмысын жетілдіруді қажет етеді.

ЖҰМЫС БАҒАСЫ

Магистрант Мадихов Самғардың «Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу» атты диссертациялық жұмысы өзекті, жоғары деңгейде орындалған, қойылған ғылыми-техникалық мәселелер нақты шешімін тапқан. Магистрлік диссертацияны 93 балл аралығында бағалап, магистр академиялық дәрежесіне лайық деп есептеймін.

Сын пікір беруші

эл-Фараби атындағы ҚазҰУ,
Плазма физикасы, нанотехнология
және компьютерлік физика

кафедрасының қауымдастырылған профессорі, PhD докторы

«03» маусым 2025 ж

Ф ҚазҰТЗУ 704-22 Рецензия



Мұратов М. М



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Троспен басқарылатын тобықты қалпына келтіруге арналған роботты жобалау және модельдеу

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Мадихов Самғар КайргалиұлыЧингиз Алимбаев

Подразделение

ИАиИТ

Объем найденных подобиий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

12044

Количество слов



КЦ

98433

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		3
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	--------------	---

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---

Д.О. Сейсенова¹, Н.Т. Жетенбаев¹, М.О. Жумагулов², Д.Х. Ораз³, С.К. Мадихов³

¹Energo University, Алматы, Қазақстан

²Asfendiyarov University, Алматы, Қазақстан

³Satbayev University, Алматы, Қазақстан

E-mail: n.zhetenbaev@au.es.kz

ТОБЫҚ БУЫНЫН ОҢАЛТУҒА АРНАЛҒАН РОБОТТАНДЫРЫЛҒАН ЭКЗОСКЕЛЕТТІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ СЫНАУ

Аңдатпа. Мақалада тобық буынын оңалтуға арналған роботтандырылған экзоскелетке қатысты зерттеулер мен даму мәселелері қарастырылады. Тобық буынының оңалтуы инсульт, жұлын жарақаты, церебральды паралич және басқа да неврологиялық немесе физикалық жарақаттардан кейін қалпына келіп жатқан науқастар үшін маңызды рөл атқарады. Дәстүрлі оңалту әдістері көп физикалық күш-жігерді талап етіп, терапевттер үшін қиын әрі уақытты көп алатын процестерді қамтиды. Роботтандырылған экзоскелеттер осы мәселелерді шешуге арналған тиімді шешімдер ретінде ұсынылады, себебі олар тұрақты және қайталанбалы қозғалыстарды қамтамасыз етіп, терапияны жекелендіріп, физикалық жүктемені азайтуға мүмкіндік береді. Қазіргі құрылғылар негізінен ірі буындарға бағытталған, ал тобық буынына арналған шешімдер әлі жеткіліксіз зерттелген. Тобық буынының ерекше биомеханикасы оны оңалту үшін арнайы шешімдерді талап етеді. Мақалада тобық буынының оңалтуына арналған экзоскелетті құрастыру мен функционалдық сынақтарды қарастыру арқылы, робототехниканың бұл саласында жаңа тәсілдер мен шешімдер ұсынылған.

Түйінді сөздер. Тобық буыны, оңалту, роботтандырылған экзоскелет, нейрореабилитация, инсульт, церебральды паралич, биомеханика, функционалдық сынақ.

Кіріспе.

Тобық буынын оңалту инсульт, жұлын жарақаты, сал (церебральды паралич) немесе спорттық жарақаттар сияқты неврологиялық немесе физикалық жарақаттардан кейін қалпына келіп жатқан науқастар үшін қозғалыс пен функцияны қалпына келтіруде маңызды рөл атқарады [1]. Тобық буыны тепе-теңдікті сақтау, жүру және басқа да негізгі қозғалыстар үшін аса қажет, сондықтан оның оңалту процесі тәуелсіздікке қол жеткізу мен өмір сапасын жақсартуда басты басымдыққа айналады. Алайда, дәстүрлі оңалту әдістері көбінесе арнайы дайындықтан өткен мамандар жүргізетін қолмен емдеуге негізделеді және терапевттер мен пациенттерден көп уақытты, күш-жігерді және ресурстарды талап етеді. Сонымен қатар, бұл әдістер терапевттер үшін физикалық тұрғыдан ауыр болуы мүмкін және оңтайлы қалпына келу үшін қажетті тұрақтылық пен дәлдікті әрдайым қамтамасыз ете алмайды.

Роботтандырылған экзоскелеттер осы қиындықтарды шешуге арналған инновациялық әрі перспективалы шешім ретінде танылуда. Жетілдірілген робототехника, сенсорлар және басқару жүйелерін біріктіру арқылы бұл құрылғылар дәстүрлі оңалту тәсілдерімен салыстырғанда бірнеше артықшылықтар ұсынады. Роботтандырылған экзоскелеттер тұрақты және қайталанбалы қозғалыстарды қамтамасыз ете алады, терапия параметрлерін нақты уақыт режимінде бейімдейді және прогресті бақылауға арналған объективті деректерді береді. Сонымен қатар, олар терапевттердің физикалық жүктемесін азайтып, пациенттер үшін неғұрлым қарқынды және жекелендірілген терапиялық сеанстарды жүргізуге мүмкіндік береді [2].

Роботтандырылған экзоскелеттерге деген қызығушылықтың артуына қарамастан, қазіргі қолданыстағы құрылғылар көбінесе жамбас немесе тізе сияқты ірі буындарға бағытталған, ал тобық буыны жеткілікті зерттелмеген күйде қалып отыр. Дегенмен, тобық буынының ерекше биомеханикасы – дорсифлексия, плантарфлексия, инверсия және эверсия сияқты көпбағытты күрделі қозғалыстарды қамтитындықтан, оның оңалту қажеттіліктерін қанағаттандыра алатын арнайы шешімдерді талап етеді. Осы олқылықты жою үшін тобық буынының оңалтуына арналған роботтандырылған экзоскелеттің арнайы дамуы аса маңызды.

Тобық буынының оңалтуына арналған роботтандырылған экзоскелеттерді әзірлеу және функционалдық сынақтан өткізу оңалту инженериясы саласындағы қызығушылық тақырыбына айналды. [3] зерттеушілері роботтандырылған жүруді оңалтуда кездесетін қиындықтарды талқылаған, атап айтқанда тобық буынын қолдау, дене салмағын тіреу және адамның роботпен физикалық әрекеттесу мәселелерін қозғаған. Олар адам мен робот арасындағы физикалық әрекеттесуді жақсартуға бағытталған дизайн және басқару тұжырымдамаларын бағалау үшін жүруді оңалтуға арналған экзоскелет прототипін әзірлеу туралы хабарлаған. [4] пневматикалық жасанды бұлшықеттің адам жүруін оңалтуға арналған белсенді ортезде қолданылу мүмкіндігін зерттеуге бағытталған. Олар жасанды бұлшықеттің калибрлеу және мінез-құлық сипаттамаларын анықтау үшін эксперименттік сынақтар жүргізіп, локомоторлық бұзылыстар кезінде бұлшықет әлсіздігін өтеу үшін белсенді элементтің маңыздылығын атап өтті. Басқа тәсілде [5] гибриді экзоскелет үшін кооперативті басқару стратегиясын ұсынды, бұл роботтандырылған экзоскелеттер мен электрлік стимуляцияны біріктіреді. Бұл стратегия әрбір әдістің шектеулерін еңсеріп, олардың амбулаториялық оңалтуды жақсартуға арналған артықшылықтарын пайдалану үшін әзірленді. [6] инсульттан кейінгі ересектерде роботтандырылған экзоскелеттерді жүруді оңалтуда қолдануға арналған ағымдағы әдебиеттерді шолу жасаған. Шолу қазіргі зерттеулерге бағыт беру және инсульттан кейінгі оңалтуда роботтандырылған экзоскелеттерді әзірлеуді ілгерілету бойынша ұсыныстар беру мақсатында жүргізілген. [7] паралич немесе төменгі аяқ-қол қозғалыс бұзылыстары бар адамдар үшін қозғалыс пен оңалтуға арналған кулачок-бақылаушы механизм және иінтірек-тербеліс механизмі негізінде оңалту құрылғысының концептуалды дизайнына назар аударды. Құрылғының арзандығы, пайдаланушының басқаруына ыңғайлылығы, сондай-ақ жүру кезінде тұрақтылық пен қауіпсіздік қамтамасыз етуі керек болған. [8] пассивті төменгі аяқ-қол экзоскелетін қолдану арқылы субъектінің жүру деректерін алу және талдау әдісін әзірлеген. Зерттеу клиникалық қолданысқа арналған адамның табиғи жүруіне ұқсас жасанды жүру модельдерін жетілдіру қажеттілігін атап көрсетті.

Инсульт функционалды қозғалыс қабілетінің жоғалуына әкелетін негізгі себептердің бірі болып табылады. Сондықтан инсульт алған науқастардың қозғалыс қабілетін қалпына келтіруді уақытылы бастау маңызды. Алайда, инсульттен кейін тізе бұлшықеттерінің белсенділігі әлсіз болып, қозғалысқа қажетті күш бере алмайды, бұл ерте оңалту шараларына кедергі келтіреді. Осы мәселені шешу мақсатында, авторлар [9] ЭМГ (электромиография) арқылы бақыланатын экзоскелет ұсынды. Бұл экзоскелет ЭМГ сигналын арнайы сенсор арқылы қабылдап, Калман сүзгісімен өңдеп, автономды басқаруды жүзеге асырады. Сонымен қатар, оңалту процесін қызықты әрі нәтижелі ету үшін арнайы ойындық элемент ұсынылды. Алғашқы сынақтар барысында 6 сау адам экзоскелетті ЭМГ сигналы арқылы басқару қабілетін көрсетіп, ойын арқылы оңалту нәтижелерін жақсартқаны байқалды. Бұл құрылғыны пайдалану оңай, оңалту үдерісін бастау үшін небәрі 72 секунд қажет, ал ЭМГ сигналының өңдеу кідірісі 64 мс-қа дейін, экзоскелет жұмысының жалпы кідірісі 110 мс-қа дейін азайтылған. Құрылғының үй жағдайында терапевтсіз пайдалануға ыңғайлы болуы инсульт алған науқастардың

реабилитациясының бастапқы кезеңінде қарқындылық пен тиімділікті арттыруға үлкен мүмкіндіктер береді. Жүру терапиясына арналған роботтарды тиімдірек жасау үшін қалыпты жүрудің нейро-механикалық динамикасы мен басқару ерекшеліктерін түсіну маңызды. Бұрынғы зерттеулерде адамның жүру қимылдары белгілі бір ритмге сәйкес келетін механикалық қоздыруларға үйлесетіні анықталған. Бұл зерттеуде [10] авторлар адамдардың жамбасқа арналған экзоскелет киіп, қозғалыстарының ритмін зерттеу жүргізді. Жамбасқа белгілі бір уақыт аралығында периодтық механикалық күштер қолданылды, және олар адамның табиғи қадамының ритміне жақын болды. Нәтижелер көрсеткендей, адамдардың қозғалысы осы күштерге бейімделіп, оларды өздерінің жүріс ырғағымен синхрондаған. Бірақ бұл синхрондау екі түрлі қадам фазасына шоғырланғаны байқалды, ал бұрынғы тобыққа жасалған зерттеулерде тек бір фазада үйлесім болған. Бұл нәтижелер адамның жүру қимылдарын бақылаудағы нейро-механикалық динамиканың маңызды ерекшеліктерін анықтайды және робот көмегімен жүру терапиясын дамытуға негіз болады. [11] авторлар ұсынған Оңтүстік Орал мемлекеттік университетінің (Челябинск) Спорт ғылымдары ғылыми-зерттеу орталығында жүргізілді. Зерттеуге 4-8 жас аралығындағы 15 бала өз еріктерімен қатысты. Төменгі аяқ буындарының қозғалыс ауқымын анықтау үшін BioDex роботтандырылған жабдығы пайдаланылды. Тізе, жамбас және тобық буындарының бұрылу бұрыштары өлшенді. Құрылғының 3D моделін әзірлеу үшін SolidWorks бағдарламалық жасақтамасы қолданылды. 4-8 жас аралығындағы сау адамдардың антропометриялық деректері алынып, статистикалық өңдеуден өткізілді. Осы мәліметтердің негізінде жасалған құрылғы элементтерінің негізгі сызықтық және кеңістіктік параметрлері есептелді. SolidWorks жүйесінде экзоскелеттің компьютерлік моделі құрылды, бұл нақты пациенттің антропометриялық деректеріне сәйкес параметрлерді өзгертуге мүмкіндік берді. 3D басып шығару технологиясын пайдалана отырып, экзоскелеттің прототипі жасалды. Қажет болған жағдайда экзоскелеттің 3D моделі түзетіліп, оны церебралды сал ауруы бар науқастарды оңалтуда сынақтан өткізу жоспарлануда. [12] мақала авторлары нейромоторлық бұзылыстары бар адамдардың қозғалуына арналған экзоскелет жобасы қарастырды. Зерттеу жаңа «стационарлық жүру» деп аталатын терапияда қолданылатын интеллектуалды жүйелерді әзірлеу қажеттілігінен басталған. Бұл терапия функционалды жүруді қалпына келтіруге арналған арнайы роботтандырылған жүйе арқылы жүзеге асырылды. Жүйе құрылымы пациентті көтеру мен орналастыру механизмімен, датчиктер мен жетектермен жабдықталған арнайы экзоскелетпен, жүруге арналған жүгіру жолымен және басқару блогымен жабдықталған. Экзоскелеттің төменгі аяқ буындарында алты ортопедиялық құрылғы болады. Төменгі аяқтардың қозғалысы және ортез бұрыштарының өзгерістері сау адамдар жүгіру жолында жүрген кезде жазылып, толық жүру циклі қалыптастырылады. Кейін бұл жазылған қозғалыстар нейромоторлық бұзылыстары бар пациенттердің қалпына келтіру бағдарламалары үшін орындалады. Экзоскелет дизайны әр аяқтың тізе және тобық буындарында жүзеге асырылған екі жазықтықтағы параллель механизмдерге негізделген. Жобаның инженерлік орындалуын растау үшін сандық модельдеу жүргізілді.

Жалпы, әдебиеттерді шолу роботтандырылған экзоскелеттерді тобық буынын оңалту үшін әзірлеу және сынау жұмыстарына деген қызығушылықтың артып келе жатқанын көрсетеді. Бұл шолуда дизайн тұжырымдамаларына, басқару стратегияларына және оңалтудың нәтижелерін жақсарту үшін әртүрлі технологияларды қолдануға ерекше назар аударылған.

Бұл мақалада тобық буынын оңалтуға арналған роботтандырылған экзоскелеттің дизайны, әзірленуі және функционалдық сынақтары қарастырылады. Ұсынылған құрылғы оңалтудың тиімділігі мен нәтижелілігін арттыруға бағытталған, ол эргономикалық механикалық құрылымды және озық басқару жүйелерін біріктіреді. Бұл зерттеу қолданыстағы технологиялардың шектеулерін шешуді және пациенттер мен

терапевттердің нақты қажеттіліктеріне бейімделген, қолдануға ыңғайлы шешімді қамтамасыз етуді мақсат етеді. Осылайша, бұл жұмыс оңалту робототехникасы саласын дамытуға және тобық қозғалысын қалпына келтіру бойынша науқастардың нәтижелерін жақсартуға ықпал етеді.

Материалдар мен тәсілдер.

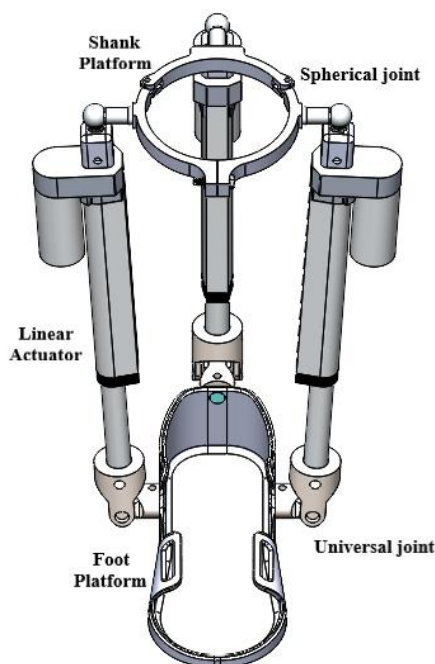
Бұл бөлімде оңалтуға арналған құрылғыны әзірлеу барысында қолданылған әдістеме баяндалған. Алғашқы кезеңде Almaty Ankle Exoskeleton V.2 үшін үш дәрежелі еркіндікке ие CAD-модель жасалып, 3D басып шығару әдісі арқылы прототип құрастырылды. Сонымен қатар, басқару жүйесінің архитектурасы ұсынылды.

Қорытынды кезеңде Almaty Ankle Exoskeleton V.2 моделіне сынақ жүргізіліп, құрылғының функционалдық мүмкіндіктері тексерілді және алынған нәтижелер жан-жақты талқыланды.

Экзоскелет CAD-модельн әзірлеу.

SolidWorks бағдарламасында әзірленген үш еркіндік дәрежесіне ие тобық буыны экзоскелетінің CAD моделі жоғары дәлдікпен жобаланған және оңалту процесінде қолдануға арналған. Экзоскелет балтыр платформасы, сызықтық электрлік жетек жүйесі, табан платформасы және шарнирлік қосылыстардан тұрады 1 суретте көрсетілген.

Балтыр платформасы тізе астында орналасып, науқастың аяқ өлшеміне сәйкес реттелетін қысқыштармен жабдықталған. Бұл конструкция әртүрлі науқастардың аяқ өлшемдеріне бейімделуге мүмкіндік береді. Табан платформасы бұл оңалту кезінде қажетті сенімділікті қамтамасыз етеді. Табан бөлігінде аяқтың дұрыс орналасуы мен бекітілуіне арналған жүйе қарастырылған.



1 сурет – Almaty Ankle Exoskeleton V.2

Құрылғының негізгі қозғалту элементтері ретінде үш электрлік сызықтық жетек қолданылады. Олар тобық буынының дорсифлексия, плантарфлексия, инверсия және эверсия сияқты қозғалыстарын орындауға мүмкіндік береді. Жетектер сфералық және әмбебап шарнирлер арқылы балтыр және табан платформаларымен байланысқан, бұл қозғалыс траекториясының дәлдігін қамтамасыз етеді.

Шарнирлік қосылыстар тобық буынының табиғи қозғалысын имитациялайды және жетек жүйесінен табан платформасына дейінгі қозғалыстың тегістігін қамтамасыз етеді. Жүйенің модульді дизайны құрылғыны жеңіл, ыңғайлы және оңай қолдануға мүмкіндік береді.

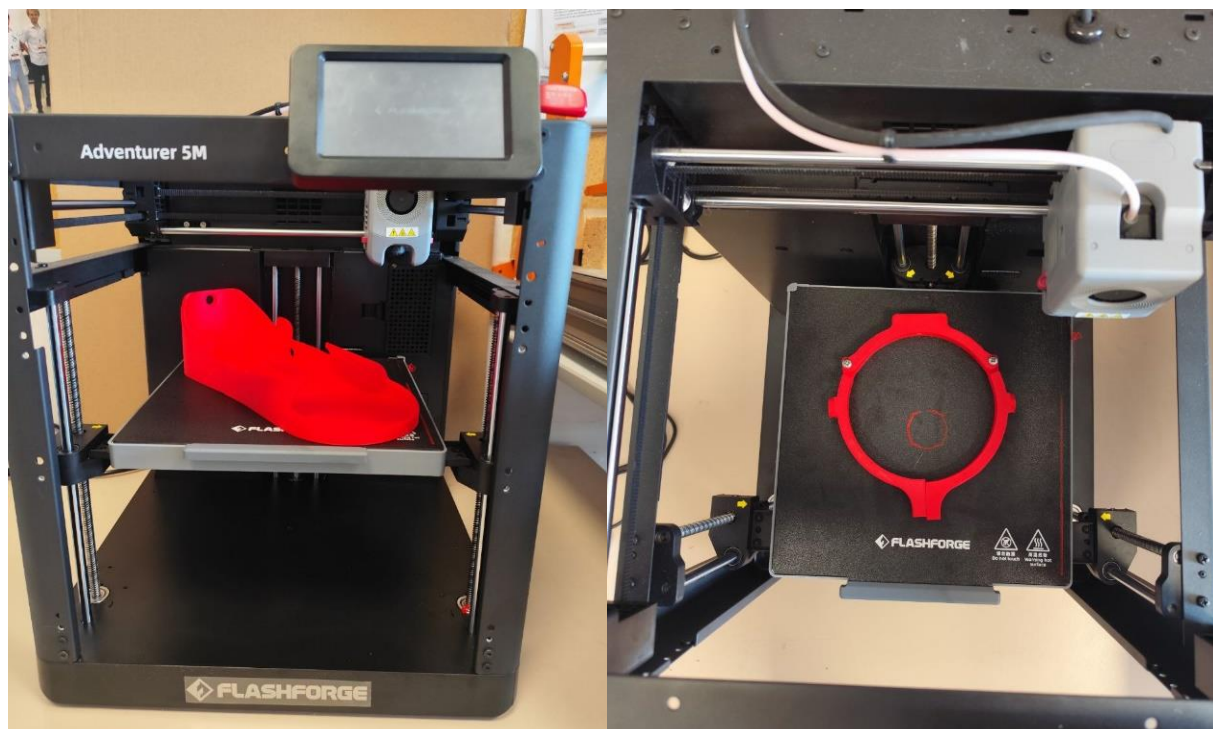
Бұл экзоскелет оңалту үдерісін тиімді жүргізу үшін жасалған, ал оның дәлдігі мен функционалдылығы пациенттің қозғалыс қабілетін қалпына келтіруді барынша жеңілдетеді.

3D басып шығару.

2 суретте тобық буыны экзоскелетінің екі негізгі компоненті көрсетілген: табан платформасы (сол жақта) және балтыр платформасы (оң жақта).

– *Табан платформасы:* Экзоскелеттің табан бөлігі аяққа ыңғайлы болу үшін анатомиялық пішінде жасалған. Бұл бөлік пайдаланушының аяғын мықты ұстап тұруды және реабилитация кезінде тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Материал ретінде PLA қолданылған, ол жеңіл әрі берік болғандықтан, реабилитациялық құралдар үшін тиімді.

– *Балтыр платформасы:* Балтырдың төменгі бөлігіне тірек ретінде орнатылатын компонент. Бұл бөліктің дизайны балтырды тұрақты ұстауға мүмкіндік береді және аяқтың өлшеміне байланысты реттеледі.



2 сурет – құрылғының 3D басып шығару сәтінен

Платформа 3D басып шығару технологиясымен Flash Forge Adventure 5 принтерінде дайындалған, бұл жоғары дәлдікті және беріктікті қамтамасыз етеді. PLA материалы құрылғының ұзақ мерзімді қолданылуын және реабилитация үдерісіндегі сенімділігін қамтамасыз ету үшін тандалған.

Жобалау кезінде пайдаланушының жайлылығы мен ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігіне басымдық беріліп, озық материалдар мен эргономикалық шешімдер қолданылды.

3 суретте экзоскелеттің сызықтық электрлік жетегі (линейный актуатор) және оның екі ұшындағы қосымша компоненттер көрсетілген. Бұл компоненттер табан мен балтыр платформаларын жалғайды.



3 сурет – сызықтық электрлік жетегінің екі ұшына қосымша компоненттер

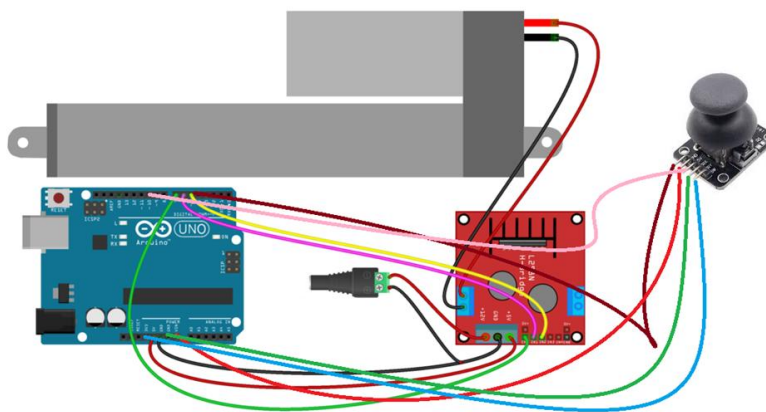
Шарнирлердің басына бекітілген қызыл түсті қосымша бөлшектер PLA материалынан 3D-принтерде басып шығарылған. Бұл бөлшектер шарнирлерді платформалармен бекітуге және жетектің функционалдығын күшейтуге арналған. Жоғары дәлдікпен басылып шығарылған бұл компоненттер жетектің берік әрі сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Басқару жүйесінің архитектурасы.

4 суретте электрлік сызықтық жетектің көмегімен басқарылатын жүйенің архитектурасы көрсетілген. Бұл құрылғы Arduino Uno микроконтроллері арқылы басқарылады, ол L298N қозғалтқыш драйверіне басқару сигналдарын жібереді. L298N драйвері Arduino-дан келген сигналдарға сәйкес электрлік сызықтық жетектің бағытын және жылдамдығын реттейді, бұл процесс 12В адаптер арқылы жүзеге асады. Джойстик Arduino Uno-ға бағыт пен жылдамдықты анықтайтын сигналдар жібереді. Осылайша, Arduino Uno мен L298N драйвері бірге сызықтық жетектің қозғалысын дәл бақылауға мүмкіндік береді.

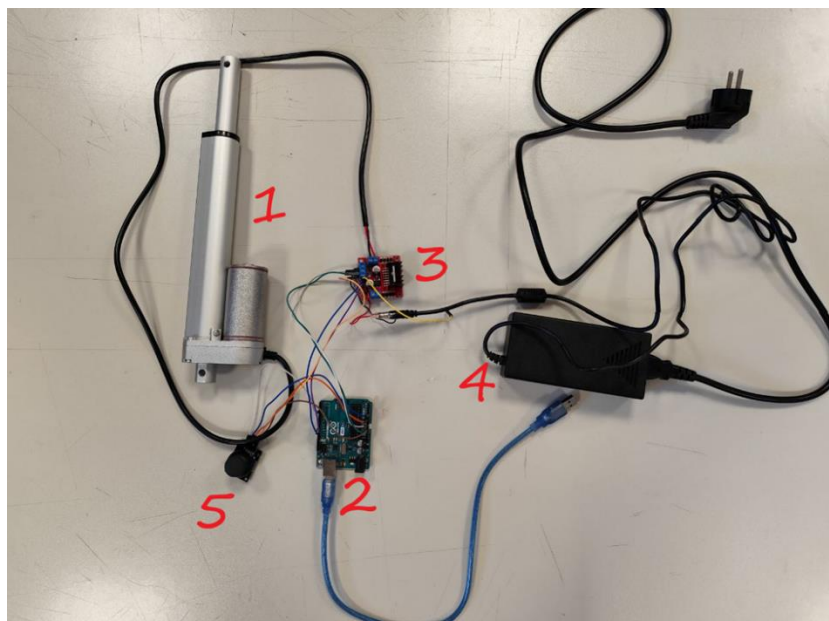
Жүйе қарапайым пайдаланушы интерфейсі арқылы басқарылады, ол джойстикпен жұмыс істейді. Джойстик пайдаланушыға қозғалыс бағытын және жылдамдығын реттеуге мүмкіндік береді. Джойстиктен Arduino Uno-ға берілетін сигналдар микроконтроллер арқылы өңделіп, L298N драйверіне жіберіледі, ол өз кезегінде электрлік сызықтық жетектің жұмысын реттейді. Бұл жүйе нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікпен және икемділікпен жұмыс істейді, әртүрлі қолданбаларда сенімді жұмысты қамтамасыз етеді.

Құрылғының жұмыс схемасы 5 суретте көрсетілген, онда жүйенің негізгі элементтері: микроконтроллер, драйвер, электрлік сызықтық жетектің және қуат көзі көрсетілген.



4 сурет – Электрлік сызықтық жетектің зертханалық прототипіне арналған сұлбасы

5 суретте электрлік актуатордың ұзындығын өлшеуге арналған зертханалық құрылғыны көрсетеді, ол реабилитациялық жаттығулар кезінде экзоскелетті басқаруға арналған.



(1- Сызықтық жетек; 2- Arduino Uno; 3- L298N қозғалтқыш драйвері;
4- 12В тұрақты ток; 5- Джойстик).

5 сурет – Зертхана құрылғысы

1 кестеде сызықтық жетектің эксперименттік және практикалық қолданбаларға сәйкес негізгі сипаттамаларына шолу жасайды. IP54 қорғаныс деңгейі бар жоғары өнімді сызықтық жетек металл редуктормен жабдықталған, динамикалық жүктемені 50 кг-ға дейін көтере алады және максималды жылдамдығы 1,5 см/с-қа дейін жетеді. Екі шекті қосқыш жетек қозғалысының шеткі позицияларында қозғалтқыштың қауіпсіз тоқтауын қамтамасыз етеді. Бұл сызықтық жетектер негізінен металдан жасалған және олардың корпусы герметикаланған, бұл IP54 стандарты бойынша шаң мен су буынан қорғауды қамтамасыз етеді. Шекті қосқыштар қозғалтқыш шекті ашылу немесе жабылу ұзындығына жеткенде оны құлыптайды, бұл жетекті қолдануды жеңілдетеді және оны толық бақылауды қамтамасыз етеді. Драйвер қуат өшірілген кезде де өз ось позициясын сақтай алады.

1 кесте - Сызықтық жетектің эксперименттік және практикалық қолданбаларға сәйкес негізгі сипаттамалары

<i>Параметр</i>	<i>Техникалық сипаттамасы</i>
Қуат көзі:	12В
Қысқарту	металл
Жүктемесіз ток	1А (12В кезінде)
Бұзылу тогы	7 А (12 В кернеуде)
Сызықтық жылдамдық	1,5 см/с (12 В кернеуде)
Қорғау деңгейі	IP54
Сызықтық күш	50 кг (12 В кернеуде)
Салмағы	800 гр.

Бұл өнім әртүрлі ұзындықтағы жетектер сериясының бөлігі болып табылады; әсіресе, бұл модельдің поршень ұзындығы 150 мм. Мотор-редукторды дереу тексеру үшін оның сымдарына 12 В (максимум) қуат көзін қосу жеткілікті. Қуаттың полярлығы өзгерген кезде, қозғалтқыш қарсы бағытта айналады, ал поршень де кері бағытта қозғалады.

Нәтижелер мен талқылаулар

Тобық буынын оңалту оның қозғалғыштығын, күшін және тұрақтылығын қалпына келтіруге бағытталған, бұл қалыпты функционалды қозғалыстарды қамтамасыз ету үшін қажет. Тобық буыны орындай алатын әртүрлі қозғалыстардың ішінде ең маңыздысы – дорсифлексия мен плантарфлексия. Бұл қозғалыстар тек қана әдеттегі жүру үшін ғана емес, сонымен қатар жүгіру, секіру және тепе-теңдікті сақтау сияқты күрделі әрекеттер үшін де қажет.

– *Дорсифлексия* – бұл табанның аяқтың жіліншігіне қарай жоғары қозғалуы. Денсаулығы жақсы тобық буынында дорсифлексияның қалыпты қозғалыс ауқымы (ROM) әдетте 10-нан 20 градусқа дейін құрайды.

– *Плантарфлексия* – бұл табанның жіліншектен төмен қарай қозғалуы. Плантарфлексияның қалыпты қозғалыс ауқымы әдетте 40-тан 50 градусқа дейін болады.

Тобық буынын оңалту кезінде дорсифлексия мен плантарфлексия – буынның қалыпты функциясын қалпына келтіруге көмектесетін маңызды қозғалыстар. Осы қозғалыстарға және олардың тиісті диапазондарына назар аудару арқылы оңалту бағдарламалары пациенттерге қозғалыс, күш және тұрақтылықты қалпына келтіруге көмектеседі, бұл қайталанған жарақаттардың алдын алу және күнделікті белсенділікке қайта оралу үшін қажет. Дорсифлексия (10-20 градус) және плантарфлексия (40-50 градус) бойынша тиімді жаттығулар жүру механикасын жақсартуға, тепе-теңдік пен функционалды әрекеттердің кең ауқымын орындау қабілетін арттыруға ықпал етеді. Модельдерді сынау нәтижелері 7 суретте көрсетілген.



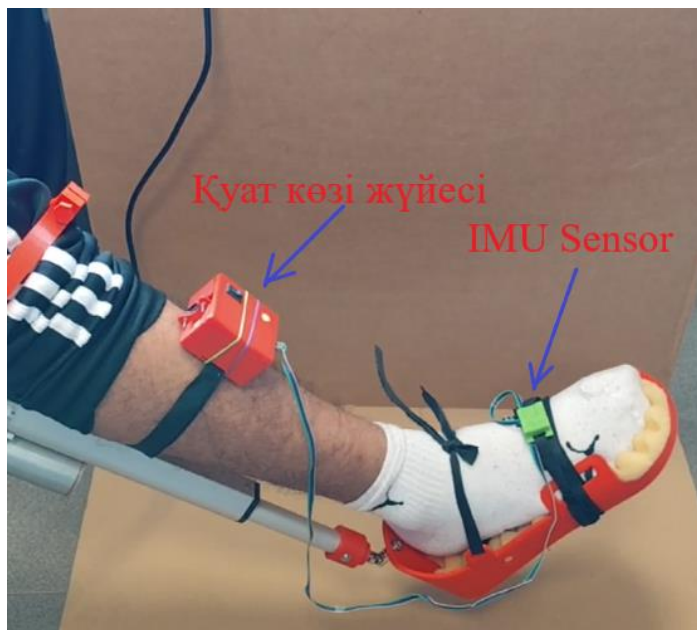
6 сурет – Almaty Ankle Exoskeleton V.2 құрылғысы

Суретте экзоскелет құрылғысының прототипі көрсетілген, ол тобық буынының дорсифлексия және плантарфлексия қозғалыстарын зерттеуге арналған. Құрылғы сынақтар кезінде тобық қозғалыстарын дәл бақылап, талдау үшін қолданылады.

Экзоскелеттің негізгі компоненттеріне қуат көзі жүйесі мен IMU Sensor (инерциялық өлшеу құрылғысы) жатады. Қуат көзі экзоскелетті энергиямен қамтамасыз етіп, оның жұмысын қолдайды, ал IMU сенсоры қозғалыс деректерін дәл тіркеп, дорсифлексия және плантарфлексия қозғалыстарының бұрыштарын, жылдамдығын және үдеуін өлшейді.

Сынақтар экзоскелеттің дорсифлексия кезінде аяқтың жоғары көтерілуін және плантарфлексия кезінде аяқтың төмен түсуін бақылау мүмкіндігін көрсетеді. IMU сенсоры арқылы қозғалыс бұрыштары 10-20 градус дорсифлексия және 40-50 градус плантарфлексия көрсеткіштеріне сәйкестігі тексеріледі. Құрылғы аяқ қозғалыстарын табиғи түрде қайталауға мүмкіндік беріп, оңалту процесінің тиімділігін арттырады.

Сынақ нәтижелері құрылғының тобық буынының қалыпты қозғалыс диапазонына сәйкес келетінін және оңалту үдерісінде қолдануға жарамды екенін көрсетеді. 6 суретте көрсетілген прототипті жетілдіру арқылы қозғалыс дәлдігін арттырып, реабилитациялық жаттығулардың сапасын жақсартуға болады.



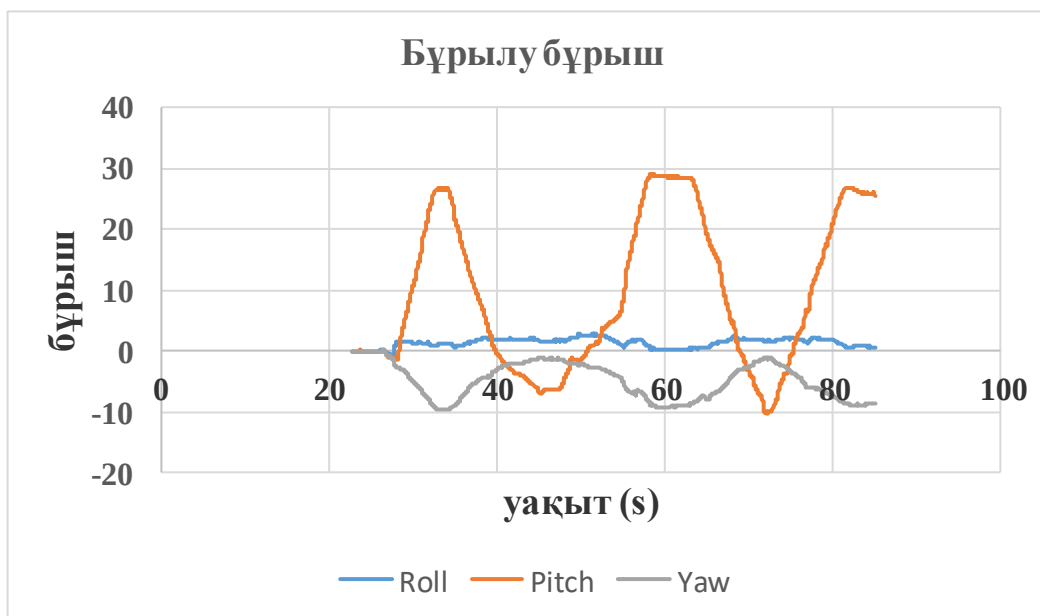
7 сурет – Құрылғының функционалды сынаққа дайындығы

8 суретте сынақ нәтижелерінің графигі көрсетілген, ол үш түрлі бұрыштың уақыт бойынша өзгерісін көрсетеді. Roll қозғалыс кезінде өте аз ауытқып, тұрақты болып тұр. Бұл тексерілетін құрылғының негізгі қозғалыс осі бойынша тұрақтылықтың жақсы деңгейде екенін көрсетеді. Pitch бұрышы айтарлықтай кең ауытқуларды көрсетеді, бұл жүйенің динамикалық қозғалысына қатысты үлкен өзгерістерді білдіреді. Yaw бұрышының өзгерісі әлдеқайда тұрақты, бірақ ол да аздап ауытқып тұрады.

Roll бұрышының мәні тұрақты әрі аз ғана өзгеріп, қозғалыс кезінде аздап ауытқып тұр, бұл құрылғының горизонтальды қозғалысын көрсетеді. Pitch бұрышы көп ауытқып, 30°-ға дейін жетеді, бұл қозғалыс кезінде құрылғының жоғары және төмен (алға және артқа) бағытта айтарлықтай бұрылғанын білдіреді. Yaw бұрышының өзгерісі төмен деңгейде болып, негізінен нөлдік мәнге жақын.

Сынақ барысында Pitch бұрышының үлкен ауытқуы қозғалыстың көп бөлігінде құрылғының басты бұрышы осы бағытта болғанын көрсетеді. Бұл тобықтың қозғалысы

кезінде жоғары және төмен кету немесе шұғыл бұрылыстар жасау қажеттілігін білдіреді, ал Roll және Yaw бұрыштары негізінен қалыпты болып сақталған.



8 сурет – Тобық буынын оңалту кезінде дорсифлексия мен плантарфлексия қозғалыстарының бұрылу бұрыштары

Қорытынды.

Бұл зерттеу тобық буынының оңалтуында роботтандырылған экзоскелеттің тиімділігін зерттеуге арналған. Экзоскелеттің нейрореабилитациядағы рөлі, әсіресе инсульт пен церебральды параличті бар науқастарда, оңалту процесінің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Экзоскелеттер пациенттің қозғалысын қайта қалпына келтіруге және оның күнделікті өмірде тәуелсіздігін арттыруға бағытталған. Бұл технологиялар сенсорлар мен биомеханика негізінде жұмыс істеп, науқастарға физиологиялық шектеулерін жеңуге мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында экзоскелеттің функционалды сынақтары мен қозғалыс терапиясындағы нәтижелері оң болды. Олардың тиімділігі қозғалыс ауқымын арттыру, бұлшықет күші мен үйлесімділігін жақсарту арқылы байқалады. Роботтандырылған жүйе пациенттің денсаулығына оң әсерін тигізіп, реабилитациялық процесті жеделдету мүмкіндігін береді. Осылайша, экзоскелет медициналық оңалту саласындағы жаңа бағытты қалыптастырып, қозғалыс мүмкіндігі шектеулі адамдар үшін болашақта маңызды құралға айналуы ықтимал.

Бұл зерттеу роботтандырылған экзоскелет оңалту жүйелеріндегі рөлін кеңейтуде және олардың тиімділігін әрі қарай зерттеуде маңызды қадам болып табылады.

Қаржыландыру. Бұл зерттеуді ҚР Ғылым және Жоғары Білім Министрлігі қаржыландырды, № AP14972221 гранты.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Sergazin, G.; Zhetenbayev, N.; Tursunbayeva, G.; Uzbekbayev, A.; Sarina, A.; Nurgizat, Y.; Nussibaliyeva, A. Design, Simulation and Functional Testing of a Novel Ankle Exoskeleton with 3DOFs. *Sensors* 2024, 24, 6160. <https://doi.org/10.3390/s24196160>

[2] Zhetenbayev N, Balbayev G, Iliev T, Bakhtiyar B. Investigation of a Passive Ankle Joint Exoskeleton Designed for Movements with Dorsal and Plantar Flexion. Engineering Proceedings. 2023; 41(1):17. <https://doi.org/10.3390/engproc2023041017>

[3] P. Beyl, M. Van Damme, R. Van Ham, R. Versluys, B. Vanderborcht and D. Lefeber, "An exoskeleton for gait rehabilitation: Prototype design and control principle," 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA, 2008, pp. 2037-2042, doi: 10.1109/ROBOT.2008.4543506.

[4] C Lescano, C Herrera, R Mirabal, R Rodrigo and S Rodrigo. Characterization of a Pneumatic Artificial Muscle for its application in an Active Ankle-Foot Orthosis, Journal of Physics: Conference Series, Volume 477, 19th Argentinean Bioengineering Society Congress (SABI 2013) 4–6 September 2013, Tucumán, Argentina, DOI 10.1088/1742-6596/477/1/012040

[5] del-Ama AJ, Gil-Agudo A, Pons JL, Moreno JC. Hybrid FES-robot cooperative control of ambulatory gait rehabilitation exoskeleton. J Neuroeng Rehabil. 2014 Mar 4;11:27. doi: 10.1186/1743-0003-11-27. PMID: 24594302; PMCID: PMC3995973.

[6] Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. J Neuroeng Rehabil. 2016 Jun 8;13(1):53. doi: 10.1186/s12984-016-0162-5. PMID: 27278136; PMCID: PMC4898381.

[7] Gonçalves, R.S., Soares, G. & Carvalho, J.C. Conceptual design of a rehabilitation device based on cam-follower and crank-rocker mechanisms hand actioned. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 41, 277 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1772-1>.

[8] Mendoza-Crespo R, Torricelli D, Huegel JC, Gordillo JL, Pons JL, Soto R. An Adaptable Human-Like Gait Pattern Generator Derived From a Lower Limb Exoskeleton. Front Robot AI. 2019 May 14;6:36. doi: 10.3389/frobt.2019.00036. PMID: 33501052; PMCID: PMC7805754.

[9] Lyu M, Chen WH, Ding X, Wang J, Pei Z, Zhang B. Development of an EMG-Controlled Knee Exoskeleton to Assist Home Rehabilitation in a Game Context. Front Neurorobot. 2019 Aug 27;13:67. doi: 10.3389/fnbot.2019.00067. PMID: 31507400; PMCID: PMC6718718.

[10] J. Lee, D. Goetz, M. E. Huber and N. Hogan, "Feasibility of Gait Entrainment to Hip Mechanical Perturbation for Locomotor Rehabilitation," 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Macau, China, 2019, pp. 7343-7348, doi: 10.1109/IROS40897.2019.8968024.

[11] Petrova L.N., Shevtsov A.V., Petrov A.A., Yakhin D.Kh. The Development of a Passive Exoskeleton for Rehabilitation of the Lower Extremities in Children with Cerebral Palsy. Human. Sport. Medicine, 2019, vol. 19, no. S2, pp. 103–109. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm19s214

[12] Copilusi, C.; Dumitru, S.; Geonea, I.; Ciurezu, L.G.; Dumitru, N. Design Approaches of an Exoskeleton for Human Neuromotor Rehabilitation. Appl. Sci. 2022, 12, 3952. <https://doi.org/10.3390/app12083952>

Dinara Seisenova, doctoral student, Energo University, Almaty, Kazakhstan, d.seisenova@aes.kz

Nursultan Zhetenbayev, PhD, senior lecturer, Energo University, Almaty, Kazakhstan, n.zhetenbaev@aes.kz

Meirambek Zhumagulov, head of the Department of orthopedic surgery, assistant, Asfendiyarov University, Almaty, Kazakhstan, mirambekdok@mail.ru

Diana Oraz, master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, orazdiana18@gmail.com

Samgar Madikhov, master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, madikhov@list.ru

DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL TESTING OF A ROBOTIC EXOSKELETON FOR ANKLE REHABILITATION

Abstract. The article discusses research and development issues related to the robotic exoskeleton for ankle joint rehabilitation. Ankle rehabilitation plays a crucial role in the recovery of patients after stroke, spinal cord injury, cerebral palsy, and other neurological or physical injuries. Traditional rehabilitation methods require significant physical effort and involve complex, time-consuming processes for therapists. Robotic exoskeletons are proposed as effective solutions to these problems, as they provide stable and repetitive movements, personalize therapy, and reduce physical strain. However, current devices are primarily focused on large joints, and solutions for the ankle joint are still insufficiently explored. The unique biomechanics of the ankle joint require specialized solutions for rehabilitation. The article discusses the development and functional testing of an exoskeleton for ankle rehabilitation and presents new approaches and solutions in the field of robotics.

Keywords. Ankle joint, rehabilitation, robotic exoskeleton, neurorehabilitation, stroke, cerebral palsy, biomechanics, functional testing.

Динара Сейсенова, докторант, Energo University, Алматы, Казахстан, d.seisenova@au.es.kz

Нұрсұлтан Жетенбаев, PhD, старший преподаватель, Energo University, Алматы, Казахстан, nursultan.zhetenbaev@mail.ru

Мейрамбек Жумагулов, заведующий отделением ортопедической хирургии, ассистент, Asfendiyarov University, Алматы, Казахстан, mirambekdoc@mail.ru

Диана Ораз, магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, orazdiana18@gmail.com

Самғар Мадихов, магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, madikhov@list.ru

РАЗРАБОТКА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕСТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ЭКСОСКЕЛЕТА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

Аннотация. В статье рассматриваются исследования и вопросы развития роботизированного экзоскелета для реабилитации голеностопного сустава. Реабилитация голеностопа играет важную роль в восстановлении пациентов после инсульта, травм спинного мозга, церебрального паралича и других неврологических или физических повреждений. Традиционные методы реабилитации требуют значительных физических усилий и включают в себя сложные и время затратные процессы для терапевтов. Роботизированные экзоскелеты предлагаются как эффективные решения для этих проблем, поскольку они обеспечивают стабильные и повторяющиеся движения, персонализируют терапию и позволяют снизить физическую нагрузку. Однако современные устройства в основном ориентированы на крупные суставы, а решения для голеностопного сустава еще недостаточно исследованы. Уникальная биомеханика голеностопа требует специализированных решений для реабилитации. В статье рассмотрены разработки экзоскелета для реабилитации голеностопа и функциональные испытания, предложены новые подходы и решения в области робототехники.

Ключевые слова. Голеностопный сустав, реабилитация, роботизированный экзоскелет, нейрореабилитация, инсульт, церебральный паралич, биомеханика, функциональные тестирования.

Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Received 25.08.2024

Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted 28.01.2025