

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Факультет комп'ютерних наук та кібернетики

## **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

### **ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПЛАНУ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗА ВИМОГАМИ МКФ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Київ 2024

УДК 005;519.7;303.732

Питання побудови індивідуального реабілітаційного плану для військовослужбовців за вимогами МКФ на основі використання систем візуалізації та комп'ютерного моделювання / В.М. Терещенко, В.А. Заславський, Є.О. Осадчий, О.А. Горбунов, О.А.: Електронне видання, - 2024. – 44 с.

Рецензенти

д.е.н., професор Ляшенко О.І. (зав. кафедри економічної кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка)

к.ф.-м.н., професор Вергунова І.М. (професор факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка)

Затверджено Вченою радою  
факультету комп'ютерних наук та кібернетики  
Київського національного університету імені Тараса  
Шевченка

Протокол № 8 від 26 січня 2024 року.

Методичні рекомендації спрямовані на роз'яснення порядку використання системи візуалізації та комп'ютерного моделювання для створення та супроводження реабілітаційних програм на різних рівнях медичної допомоги у лікарняних та санаторно-курортних установах України. У рекомендаціях враховано вимоги до уніфікованих клінічних протоколів медичної допомоги, що стосуються фізіотерапії та лікувальної фізкультури, допомог та рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я в організації реабілітаційного процесу.

Методичні рекомендації пропонуються для використання в практичній роботі лікарів госпітальної, амбулаторно-поліклінічної та санаторно-курортної ланки медичної служби, лікарів фізичної та реабілітаційної медицини, ерготерапевтів, фізичних терапевтів, медичних (клінічних) психологів, університетів та навчальних центрів, які проводять навчання та підвищення кваліфікації. та фізичних терапевтів, ерготерапевтів, на факультетах комп'ютерних наук та кібернетики у навчальному процесі.

#### УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

- |      |   |   |
|------|---|---|
| ФРМ  | - | фізична та реабілітаційна медицина  |
| МКФ  | - | Міжнародна класифікація функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я |
| ОРА  | - | опорно-руховий апарат   |
| СВКМ | - | система візуалізації та комп'ютерного моделювання                             |

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Організація реабілітаційного процесу та його періоди .....	5
1.1 Мультидисциплінарна команда та індивідуальний реабілітаційний план ...	5
1.2 Міжнародний класифікатор функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я .....	6
1.3 Особливості програми реабілітації осіб з ампутацією нижньої кінцівки на другому періоді реабілітації.....	8
2 Технічне та програмно-алгоритмічне забезпечення СВКМ.....	10
2.1 Технічне забезпечення, організація збору первинних відеоданих .....	11
2.2 Програмно-алгоритмічне забезпечення СВКМ та технологія Скелетон .....	12
3 Використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців .....	14
3.1 Алгоритмічне забезпечення процедур підтримки прийняття рішень в системі СВКМ при виникненні болю та дисфункції ОРА .....	14
3.2 Відеоаналіз виконання вправи «Кобра» та виявлення дисфункцій ОРА ...	16
3.3 Приклад використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців під час вибору керуючих впливів та фізичних вправ ....	17
3.4 Приклад використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців для контролю та оцінки виконання руху .....	19
3.5 Приклад застосування системи СВКМ для вимірювання та відстеження кутів нахилу голови .....	20
3.6 Приклад застосування системи СВКМ для аналізу виконання пацієнтом вправ з гантелями та гумками .....	22
3.7 Система підтримки прийняття рішень для виконання спеціалізованих вправ фірми OttoBock за вимогами МКФ .....	25
Висновок .....	28
Список використаних літературних джерел .....	29
Додаток 1. Лист обстеження верхніх та нижніх кінцівок .....	31
Додаток 2. Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини (пацієнтів) при дисфункціях: у шийному відділі хребта .....	34
Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини (пацієнтів) при дисфункціях у грудному відділі хребта .....	36
Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини (пацієнтів) при дисфункціях у поперековому відділі хребта .....	38
Додаток 3. Алгоритм вибору керуючих впливів .....	41
Додаток 4. Алгоритм контролю за виконанням руху .....	42
Додаток 5. Елементи графічного інтерфейсу системи та реєстрації поворотів голови до та після лікування .....	43

## Вступ

Медична реабілітація є основним засобом повного або часткового відновлення дефіциту функцій, які виникли внаслідок захворювань, травм чи поранень військовослужбовців.

Медична реабілітація повинна включати заходи, які направлені на попередження інвалідності та допомоги хворому у досягненні максимальної фізичної, психічної, соціальної, професійної та економічної повноцінності, яка максимально можлива при його захворюванні і дефіциті функцій.

Особливо важливе значення медична реабілітація має для військовослужбовців – учасників бойових дій, військовослужбовців спеціальних контингентів, хворих у гострій фазі та фазі реконвалесценції після гострих захворювань і травм та хворих в фазі ремісії хронічних захворювань..

Велика кількість пацієнтів і нестача кадрів потребує використання комп'ютерних систем зі штучним інтелектом. У цій роботі розглядаємо як систему візуалізації та комп'ютерного моделювання (СВКМ) можна використовувати для покращення якості проведення реабілітації для військовослужбовців з використанням вимог Міжнародної класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я (МКФ).

Досвід роботи в Центрі медичної реабілітації та санаторного лікування «Пуца-Водиця» МО України показав актуальність дослідження постави, обсягів руху кінцівок, стан опорно-рухового апарату (ОРА) військовослужбовців після травм та поранень та військовослужбовців з наслідками перенесеного бойового стресу, контузій [1,2,3].

Для даної категорії пацієнтів нами були розроблені бланки, що відображають динаміку зміни обсягів руху у суглобах (бланк для верхньої кінцівки та нижньої кінцівки) та програма для реєстрації кутів руху голови, руху шийного відділу хребта, а також добре відображають перебіг реабілітаційного процесу за основними захворюваннями (травми, поранення, стрес). Бланки представлені у додатку 1.

Бланк містить обстеження сили в основних м'язах, обсяги м'язів, дані болю за візуальною аналоговою шкалою, дані дослідження робляться до початку реабілітації та після. Бланк містить обсяги руху в основних суглобах верхньої та нижні кінцівок. Дані про обсяги руху на суглобах визначаються за допомогою комп'ютерної системи СВКМ. Динаміка зміни названих параметрів дозволяє судити про якість реабілітації.

З початком великомасштабних військових дій на території України група пацієнтів у Центрі медичної реабілітації та санаторного лікування «Пуца-Водиця» суттєво змінилася, переважно це пацієнти, після ампутацій кінцівок. Реабілітація пацієнтів, цієї групи, має низку своїх особливостей, які спричиняють особливі вимоги до СВКМ.

Мета даної роботи – визначити та показати, як необхідно працювати із системою СВКМ для підвищення ефективності реабілітації за стандартами МКФ з особами з ампутацією нижньої кінцівки.

## **1 Організація реабілітаційного процесу та його періоди**

В процесі реабілітації осіб після ампутацій кінцівок можна виділити три періоди [4].

**Перший період**, або ранній післяопераційний, триває з дня операції до зняття швів. Реабілітаційні заходи в цей період здійснюються в травматологічному або хірургічному відділеннях військово-медичного клінічного центру або військового госпіталю.

**Другий період** – період підготовки до протезування (з дня зняття швів до отримання постійного протезу). Реабілітація при цьому проводиться стаціонарно в відділенні реабілітації пацієнтів з ампутуваними кінцівками військово-медичного клінічного центру.

**Третій період** направлений на оволодіння протезом. В цей період реабілітаційні заходи можуть проводитись амбулаторно або стаціонарно у відділенні реабілітації пацієнтів з ампутуваними кінцівками військово-медичного клінічного центру, реабілітаційних відділеннях протезних підприємств та в санаторно-курортних закладах.

### **1.1 Мультидисциплінарна команда та індивідуальний реабілітаційний план**

Мультидисциплінарна команда – група фахівців різних спеціальностей, які надають допомогу в лікуванні та реабілітації хворих і працюють як єдина команда (бригада) з чіткою узгодженістю і координованістю дій, що забезпечує цілеспрямований підхід в реалізації завдань реабілітації для забезпечення відновлення або компенсації наявних обмежень життєдіяльності.

До складу команди входять: медичний персонал (лікуючий лікар, лікарі за профілем патології, лікар з фізичної та реабілітаційної медицини (ФРМ), фізичний терапевт, ерготерапевт, медичний психолог, молодший медичний персонал, спеціально навчений прийомам реабілітації) та не медичний персонал (інструктор з лікувальної фізкультури, ерготерапевт, кінезотерапевт, психолог, соціальний психолог тощо).

Робота мультидисциплінарної команди – це спільне проведення огляду та оцінки стану пацієнта, ступеня порушення функцій, а також створення адекватного середовища для пацієнта залежно від його спеціальних потреб; спільне обговорення стану кожного пацієнта не рідше одного разу на тиждень; спільна постановка цілей реабілітації; планування виписки тощо.

Індивідуальний реабілітаційний план – це комплексний міждисциплінарний план відновного лікування, орієнтований на конкретного пацієнта, який повинен бути розроблений на початку процесу реабілітації та оновлюватися і модифікуватися на всіх її етапах. Індивідуальна програма медичної реабілітації вноситься до медичної карти стаціонарного хворого в

розділі, що стосується плану обстеження та плану медичного відновного лікування, зазначаються потрібні консультації необхідними спеціалістами та фахівцями в залежності від клініко-функціонального стану хворого, формулюється очікуваний результат на наступному етапі реабілітації.

Після затвердження індивідуального реабілітаційного плану на загальних зборах мультидисциплінарної реабілітаційної команди лікарем фізичної та реабілітаційної медицини, кожен фахівець з реабілітації, в рамках своїх професійних компетентностей за результатами реабілітаційного обстеження, самостійно складає програму терапії, реалізує та оцінює її результативність і ефективність.

## **1.2 Міжнародний класифікатор функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я**

Вся діяльність мультидисциплінарної команди базується на Національному класифікаторі 030:2022 “Класифікатор функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я” розроблено з метою запровадження в Україні Міжнародної класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я відповідно до частини другої статті 8 Закону України “Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я” та плану заходів із впровадження в Україні Міжнародної класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я та Міжнародної класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я дітей і підлітків (затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2017 року № 1008-р) та Угоди між Всесвітньою організацією охорони здоров'я та Міністерством охорони здоров'я України від 12 квітня 2021 року №TR/19/063REV1 “Про надання прав на переклад та публікацію Міжнародної класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я (МКФ)”.

Запровадження Класифікатора дозволяє:

- збирати та обробляти міжнародно порівняльні статистичні дані щодо функціонування та обмежень життєдіяльності людини при організації надання реабілітаційної допомоги з урахуванням порушень функцій та структур організму, обмежень активності та обмежень можливості участі таких осіб, а також впливу факторів середовища та особистих факторів при проведенні реабілітаційного обстеження, встановленні мети та завдань реабілітаційної допомоги та плануванні комплексу заходів, необхідних для їх досягнення, зокрема в частині підбору, налаштування та забезпечення допоміжними засобами реабілітації;

- уніфікувати кодування реабілітаційної допомоги у закладах охорони здоров'я та реабілітаційних закладах усіх форм власності та за їх межами, а також при наданні допомоги у сферах соціального захисту, освіти, фізичного виховання та спорту та працевлаштування осіб з обмеженнями повсякденного функціонування (осіб з інвалідністю, дітей з інвалідністю), забезпечення безбар'єрності та доступності.

Класифікатор охоплює всі аспекти здоров'я людини та деякі складові добробуту, пов'язані зі здоров'ям, та описує їх в термінах доменів здоров'я та доменів, пов'язаних зі здоров'ям (прикладом доменів здоров'я є бачення, слухання, ходьба, навчання, натомість прикладами доменів, пов'язаних зі здоров'ям, є транспортування, навчання, соціальні взаємодії), рис.1.1.



Рис. 1.1. Структура Національного класифікатора 030:2022

Структура кодів має наступні формати x1 (перший рівень), x111 (другий рівень), x1111 (третій рівень) та x11111 (четвертий рівень), де префіксом є “b” для “Функцій організму”, “s” – для “Структури організму”, “d” – для “Активність та Участь” та “e” – для “Фактори середовища”. Відповідно кожен з компонентів “Функції організму” та “Структури організму” має чотири рівні (b1-b51059, s1-s76009), кожен з компонентів “Активність та Участь” та “Фактори середовища” мають три рівні (d1-d9309, e1-e5959).

В МКФ використовуються однорівнева і двохрівнева класифікація. Важливо відзначити значення дворівневої класифікації для організації та проведення реабілітаційних заходів у майбутньому з використанням системи СВКМ.

Попередні дослідження нададуть необхідну інформацію для прийняття рішень щодо якого типу базових наборів МКФ для людей з ампутованими кінцівками слід дотримуватись.

Базові набори МКФ – це практичні інструменти для різних цілей. Вони дозволяють лікарям та дослідникам класифікувати та описувати функціонування людини, використовуючи ті коди МКФ, які найбільше підходять.

Короткий основний набір МКФ може полегшити міжнародні дослідження та дослідження, які порівнюють наслідки різних станів. Комплексний базовий набір МКФ можна використовувати в клініці як контрольний список для оцінки потреб пацієнта, формулювання цілей реабілітації та оцінки прогресу. Загальна довідкова система є потужним засобом комунікації між медичними працівниками у конкретних умовах та між установами. Аналогічно це може бути корисно при спілкуванні між медичними працівниками та людьми з ампутацією.

Розробка базових наборів МКФ – це інклюзивний та відкритий процес, знайти місце системи СВКМ у цьому – важливе завдання.

Складовою частиною індивідуального реабілітаційного плану є реєстрація об'ємів руху, постави та динаміка їх зміни у процесі реабілітації та підбору необхідних вправ, що виконується з використанням системи СВКМ.

### **1.3 Особливості програми реабілітації осіб з ампутацією нижньої кінцівки на другому періоді реабілітації**

Під час періоду підготовки до протезування пацієнтів після ампутації нижніх кінцівок (другий період реабілітації) основними цілями є контроль набряку кукси, контроль болю, запобігання контрактури суглобів, формування кукси, підготовка до ходьби[4].

Проводяться такі заходи:

- 1) режим III;
- 2) дієта, медикаментозна терапія (як попередньому періоді);
- 3) психотерапія, спрямована на ознайомлення з необхідною інформацією і навчання пацієнта, підвищення мотивації його до опанування протезом і повернення до активного способу життя;
- 4) фізіотерапія (ультразвук, мікрівібрація, електростимуляція);
- 5) акупунктура;
- 6) фантомна гімнастика з дзеркалом;
- 7) масаж і самомасаж кукси;
- 8) мануальна розробка рухливості післяопераційного рубця;
- 9) зменшення гіперчутливості шкіри в ділянці культі із застосуванням методів: розтирання, постукування і вібрації;
- 10) вправи на вироблення опоростійкості кукси шляхом натискання її вільного кінця спочатку на м'яку, а потім на більш тверду опору, з поступовим збільшенням тривалості занять з 2 до 15 і більше хвилин;
- 11) лікування положенням (для пацієнтів з ампутаціями стегна доцільно перебувати в положенні лежачи на животі до 2 годин 2 рази на день; при ампутаціях гомілки доцільно перебувати максимально довше в положенні, коли кукса буде у випрямленому положенні, обидві нижні кінцівки розігнуті в колінних суглобах і зведені разом);



12) бинтування кукси еластичним бинтом, який залишається 24 години на добу, при цьому 3-4 рази на день перевіряється необхідна сила стиснення м'яких тканин бинтом (після перев'язки очікуємо 15 хвилин, якщо для пацієнта сила стиснення є некомфортною, то пов'язка ослаблюється);

13) комплекс загальнозміцнюючих вправ для м'язів верхнього плечового поясу;

14) комплекс спеціальних вправ.

Позиції 1-12 – загальні реабілітаційні заходи, виконуються членами мультидисциплінарної команди.

Позиція 13 може супроводжуватись роботою системи СВКМ. Приклад виконання вправи з гантелями розглянуто у розділі 3.

Комплекс спеціальних вправ (позиція 14) розглядається у розділі 3 на прикладі використання комплексу спеціальних вправ рекомендованих фірмою OttoWock під куруванням системи СВКМ.

В третьому реабілітаційному періоді основною метою для хворих з ампутацією нижніх кінцівок є навчання ходьби за допомогою протеза. Для цього виконуються спеціальні вправи:

1) хворого навчають стояти з рівномірною опорою на обидві кінцівки, переносити масу тіла у фронтальній площині;

2) хворого навчають переносити масу тіла у сагітальній площині;

3) тренують рівним кроковими рухами, ході на похилій площині, по східцям, нерівній місцевості, поворотам;

4) в заняття з хворими молодого і середнього віку включають елементи спортивних ігор (волейбол, баскетбол, настільний теніс), плавання в басейні.

В третьому реабілітаційному періоді особливого значення набувають вправи на активацію та розвиток вестибулярної системи.

Важливо зазначити, що дев'яносто відсотків сигналів, які мозок посилає тілу, виходить із тих його ділянок, які відповідають за збереження стабільного становища, і лише 10 відсотків припадає на сигнали, що ініціюють рух. Якщо розглянути сигнали, які мозок посилає тілу, то виявиться, що стабілізація результатів руху важливіша за, власне, самий рух. Дев'яносто відсотків таких сигналів виходить із ділянок мозку, завдання яких – утримувати тіло у стабільному стані. Цей процес є рефлекторним і відбувається без свідомості. Тому опрацювання нейронних структур, які відповідають за рефлекторну стабілізацію, є важливою частиною тренінгу.

Шийний відділ хребта має широкий спектр рухових можливостей та надає мозку важливу інформацію для контролю та стабілізації положення тіла. Чіткий контроль над рухами шийного відділу дозволяє ефективно стабілізувати корпус і позитивно позначається на функціонуванні як зорової, так і вестибулярної систем, тому що вони залежать від сенсорної інформації, що надходить в мозок з цієї області. Особливу увагу ми приділимо верхній частині шийного відділу хребта, оскільки вона надає мозку особливо важливі дані.

Проблеми з вестибулярною системою можуть бути наслідком порушень роботи інших систем, з якими вона функціонально пов'язана. Перед початком тренування (хода) бажано активувати хоча б деякі з них.

Вестибулярна система також отримує мобілізацію від вправ грудного відділу хребта, витягування стегна, особливо ефективними показали себе вправи на розтяжку.

М'язи шиї посилають сигнали безпосередньо в центри вестибулярної системи в стовбурі мозку, середній частині мозочка і середньому мозку. Тому мобілізація цих м'язів – спосіб підтримати вестибулярний апарат без зайвих стресів. Крім того, тренінг м'язів шиї покращує важливі постуральні рефлекси. Саме тому м'язи цієї групи слід опрацьовувати регулярно, незалежно від тренувань вестибулярної системи.

Так само, як у випадку з м'язами шиї, сигнали, які ініціюються під час руху хребта, передаються безпосередньо центрам вестибулярної системи у стовбурі мозку та середній частині мозочка. Остання тісно пов'язана з областями мозочка, що відповідають зароботу вестибулярної системи. Мобілізуючи шийний відділ хребта, особливо його верхню частину, можна активувати вестибулярну систему та підготувати її до тренінгу хребта. Для мобілізації грудного та шийного відділів можна використати вправи з практики йоги, зокрема вправу "Кобра". Побудову контролю самостійного виконання цієї вправи з використанням системи СВКМ розглянуто у підрозділі 3.2. Крім того, система СВКМ може використовуватися для вимірювання та відстеження кутів нахилу голови, що дозволяє виконувати спеціальні вправи з поворотом голови для активації та тренування вестибулярної системи [5].

Розгинання стегна – це найважливіша частина зворотного ланцюга передачі енергії, незамінна у фітнесі та атлетичних тренуваннях. Але існують і інші, суто нейроцентричні причини цілеспрямованої роботи над розгинанням стегна. Як і у випадку з грудним і шийним відділами хребта, інформація про рухи стегон, що розгинають, направляється в середню частину мозочка, де досягає областей, що відповідають за координацію рухів очей, хребта та обробку інформації, що надходить з вестибулярної системи. Активувати сенсорні ділянки м'язів стегна можна за допомогою вправи «Бічне розтягнення стегна». Побудову контролю самостійного виконання цієї вправи з використанням системи СВКМ розглянуто у підрозділі 3.4.

## **2 Технічне та програмно-алгоритмічне забезпечення СВКМ**

Аналізуючи принципи побудови індивідуального реабілітаційного плану для осіб з ампутацією нижньої кінцівки на другому та третьому етапі, можна сформулювати основні, особливо важливі завдання для СВКМ, які полегшать роботу всіх членів мультидисциплінарної команди, особливо лікаря ФРМ, фізичного терапевта, вирішення яких дозволить об'єктивізувати перебіг реабілітаційного процесу.

Основні технічні завдання до системи СВКМ:

1. Аналізувати виникнення болю при виконанні вправ самостійно.
2. Аналізувати поставу пацієнта у різних положеннях (стоячи, сидячи, під час ходьби), аналізувати елементарні рухи.
3. Аналізувати виконання фізичних вправ на силу та витривалість (час, інтенсивність, оцінка витраченої енергії та інші).
4. Аналізувати та оцінювати виконання фізичних вправ на тренування вестибулярного апарату.

У цих методичних рекомендаціях розглядаємо ці задачі.

## 2.1 Технічне забезпечення, організація збору первинних відеоданих

Для збору первинних даних створено комплекс відеоспостереження, який складається з 4 камер, встановлених так, що об'єкт дослідження був розташований в центрі між ними, з можливістю проведення зйомки з чотирьох сторін (прямо, ззаду, ліворуч, праворуч). Досвід використання 5 камер (5 камера – верхня над головою) показав ефективність роботи, але по технічним причинам реалізувати в даному проєкті змогли тільки 4-х камерну модель. Система дозволяє здійснювати фото- і відеозйомку об'єкта одночасно з усіх 4 камер, синхронно, одним сигналом запуску. На рис.2.1 показана схема для оцінки постави та ходи пацієнта.

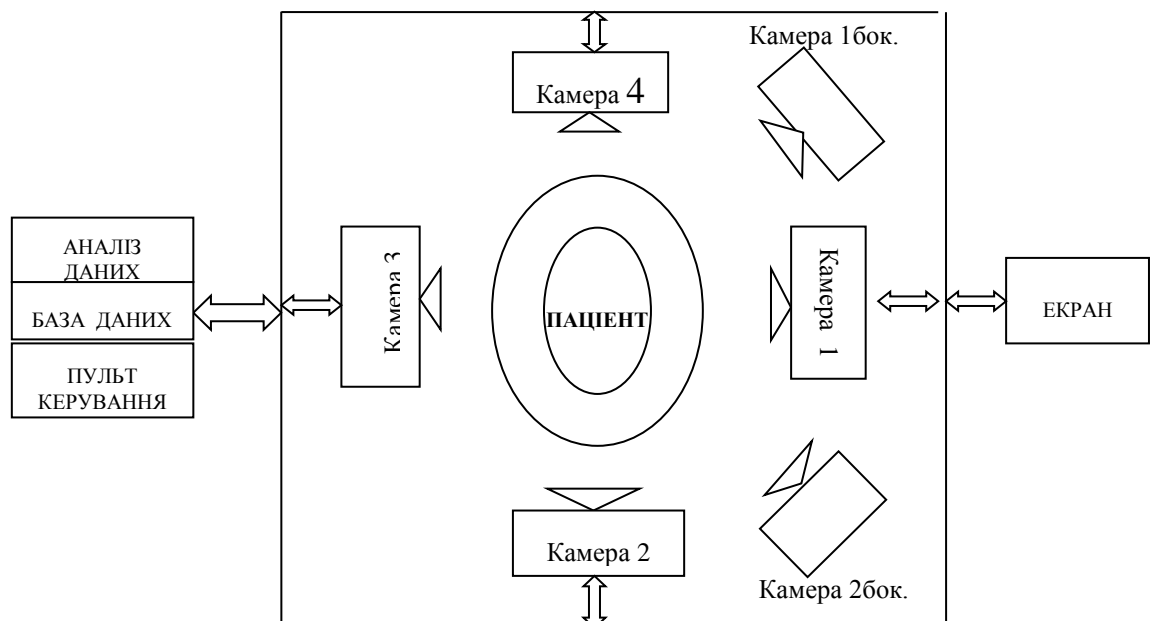


Рис. 2.1. Схема розміщення камер реєстрації для проведення досліджень.

При роботі комплексу формуються масиви фото-та відеоданих. Масив фото (Ф) служить для проведення постурального аналізу та аналізу елементарних рухів.

$$F_k = \{F_{kf}; F_{kp}; F_{kl}; F_{kz}\},$$

де  $k$  – номер тесту,  $i$  – час проведення тесту, фото:  $f$  – прямо,  $l$  – ліворуч,  $p$  – праворуч,  $z$  – ззаду.

Масив відео (В) використовується для аналізу руху при виконанні тестових завдань і контролю за виконанням вправ. В ході лікування формується наступний масив:

$$V_k = \{V_{kf}; V_{kp}; V_{kl}; V_{kz}\},$$

де  $k$  – номер тесту або вправи,  $i$  – час проведення тесту або вправи, відео:  $f$  – прямо,  $l$  – ліворуч,  $p$  – праворуч,  $z$  – ззаду.

При проведенні досліджень пацієнт знаходиться в певному місці, суворо витримуючи орієнтацію щодо камер реєстрації та виконує тестові рухи, що відображаються на екрані телевізора. Усі дії: відображення тестового руху, команда на виконання тестового руху, фото чи відеореєстрація синхронізовані.

Для відтворення результатів велика увага приділяється також освітленню пацієнта, яке зберігається (підтримується) незмінним.

## **2.2 Програмно-алгоритмічне забезпечення СВКМ та технологія Скелетон**

Завдання побудови моделі тіла людини є в певному сенсі ключовим в розробці СВКМ, оскільки ця модель визначає всі подальші технології обробки інформації про рух, що надходить з відеопотоку і фотореєстрації. Крім того, модель тіла людини визначає необхідну множину характерних точок тіла, яка, з одного боку, має досить детально описувати рух, а з іншого боку – визначає можливість роботи СВКМ в реальному масштабі часу.

Абстрактна модель тіла людини не пов'язана з конкретними анатомічними точками на тілі людини, які використовуються в традиційній медицині, а є результатом обробки фотографій і відеокадрів математичними методами. Відомо, що оптимальною моделлю тіла людини є Скелетон [6-11].

Правильно побудований скелет має такі властивості:

- зберігає топологію оригінального об'єкта;
- розташований в центральних точках геометричної області об'єкта;
- скелетон є зв'язна фігура, тобто всі пікселі скелетона пов'язані один з одним;
- має ширину 1 піксель;
- для кожного пікселя скелетона відома відстань до границі об'єкта.

На скелетоні тіла людини за моделлю OpenPose [12] визначають характерні точки (ХТ), в нашій роботі для проєкції «вид спереду» обрані  $ХТф(i)$ , де  $i = 1 \dots 20$  та представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Перелік характерних точок на тілі людини за технологією OpenPose

Номер характерної точки	Опис характерної точки	Номер характерної точки	Опис характерної точки
1	Центр голови	11	лівий ліктювий суглоб
2	Положення правого вуха	12	L1 – проєкція 1-го поперекового хребця (Центр обертання тіла навколо центру маси)
3	Положення лівого вуха	13	Правий кистьовий суглоб
4	Положення правого ока	14	Лівий кистьовий суглоб
5	Положення лівого ока	15	Правий стегновий суглоб
6	C7 – проєкція шийний останнього хребця (центробертання голови)	16	Лівий стегновий суглоб
7	правий плечовий суглоб	17	Правий колінний суглоб
8	лівий плечовий суглоб	18	Лівий колінний суглоб
9	Tn5-ий грудної хребець (приблизна проєкція центру мас людини)	19	Правий гомілковостопний суглоб
10	Правий ліктювий суглоб	20	Лівий гомілковостопний суглоб

Аналогічно проєкції «вид спереду»  $ХТф(i)$  визначаються характерні точки для інших проєкцій  $ХТл(i)$ ,  $ХТп(i)$ ,  $ХТз(i)$ .

Таким чином, структура даних характерних точок скелетона представляється в такий спосіб:

$$ХТф = \{ХТф1, ХТ2, \dots, ХТф20\};$$

$$ХТл = \{ХТл1, ХТл2, \dots, ХТл20\};$$

$$ХТп = \{ХТп1, ХТп2, \dots, ХТп20\};$$

$$ХТз = \{ХТз1, ХТз2, \dots, ХТз20\};$$

Для деяких видів вправ використовуються додаткові характерні точки: дистальні точки лівої кисті  $ХТ21$ , правої кисті  $ХТ22$ ; дистальні точки лівої і правої стоп  $ХТ23$ ,  $ХТ24$ , відповідно.

Технологія побудови скелетона з використанням технології MedioPipe [13] представляє характерні точки на тілі пацієнта як показано на рис. 2.2.

Ці дві технології мають свої переваги та недоліки та використовуються залежно від поставлених завдань.

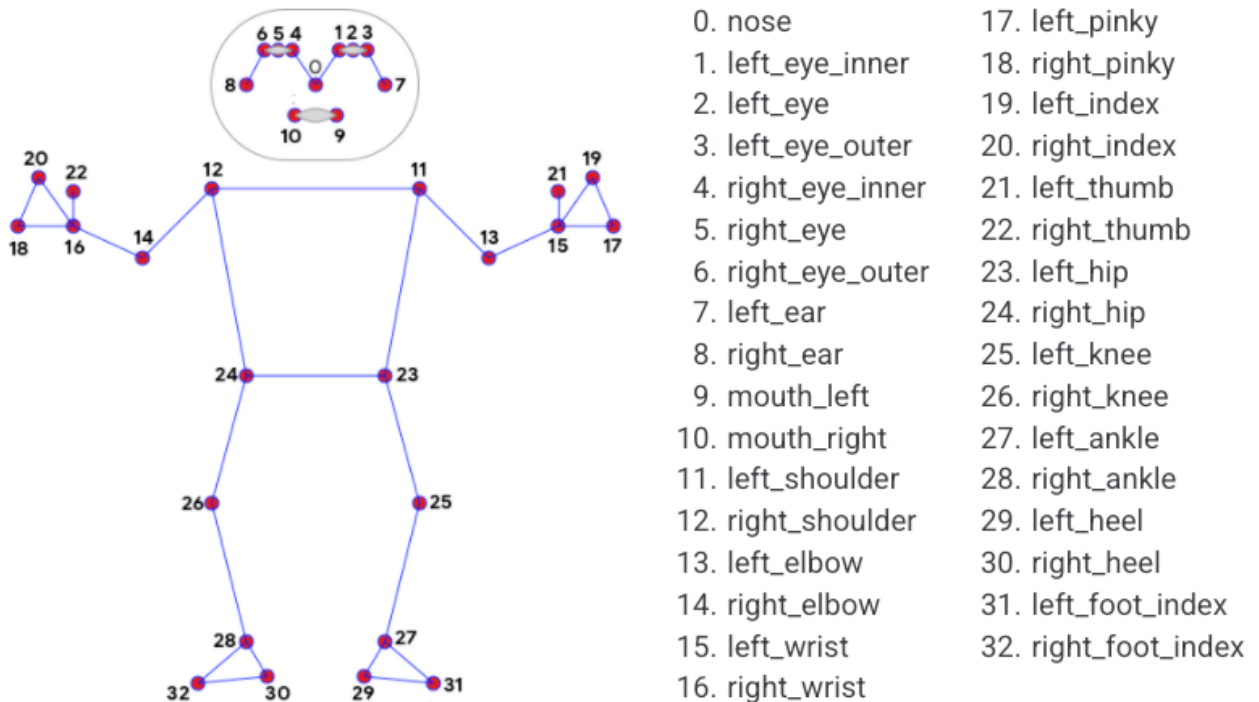


Рис. 2.2. Характерні точки Скелетона на тілі пацієнта за технологією MedioPure

### 3 Використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців

#### 3.1 Алгоритмічне забезпечення системі підтримки прийняття рішення системі СВКМ у разі виникнення болю та дисфункції ОРА

Універсальний алгоритм роботи системи відеоаналізу для системи підтримки прийняття рішень системи СВКМ у разі виникнення болю та дисфункції ОРА при самостійному виконанні пацієнтом комплексу вправ представлений на рис. 3.1, де:

0 – Універсальний Блок «0» системи СВКМ для визначення дисфункції ОРА.

01 - Позитивна динаміка якості виконання вправи та стабільність обсягу руху. Чи є?

02 - Збільшення обсягів руху відбувається за рахунок тренування чи є ймовірність виникнення гіпермобільності у сегменті ОРА? Параметри швидкість  $v$  та прискорення  $a$  у певній фазі руху в нормі?

03 - Продовжити тренування у полегшеному режимі?

04 - У певній фазі вправи підключити увагу на виконання і докласти зусилля для збільшення обсягів руху. Біль з'являється?

05 - Збільшити концентрацію уваги виконання фази руху на вправі (знизити швидкість, збільшити ретельність), швидкість і прискорення у діапазоні норми? У кожній окремій вправі та при наступних повтореннях.

06 - Продовжити тренування зі збільшенням уваги на певний сегмент ОРА та з дивованим зусиллям.

07 - Продовжити тренування зі збільшенням уваги на певний сегмент ОРА і в більш уповільненому темпі.

08 - Звернутися до лікаря для додаткових досліджень, ймовірно, виникнення гіпермобільності.

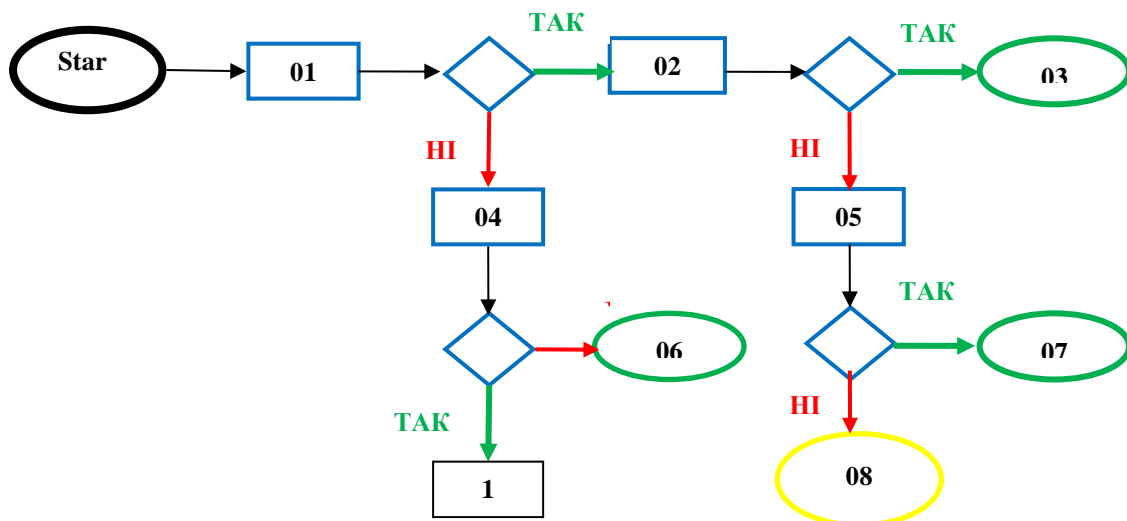


Рис. 3.1. Універсальний Блок «0» системи СВКМ для визначення дисфункції ОРА

Даний блок є універсальним і використовується для виявлення болю та дефекту руху в суглобах, відділах хребта. У додатку 2 представлені алгоритми дії пацієнта у разі виникнення болю в шийному, грудному, поперековому відділі хребта відповідно.

Слід звернути увагу, що опрацювання з пацієнтами є обов'язковою вимогою при роботі зі СВКМ, що дозволить на ранньому етапі самостійного виконання фізичних вправ уникнути розвитку патологічних станів у ОРА та взагалі в організмі.

### 3.2 Відеоаналіз виконання вправи «Кобра» та виявлення дисфункцій ОРА

Відеоаналіз виконання вправи практики йоги асани «Кобра» для виявлення дисфункцій ОРА будується наступним чином.

Для демонстрації побудови Блоку «0» (рис. 3.1) виберемо аналіз виконання вправи йоги асани «Кобра» (рис. 3.2). Ця асана дуже часто включається до об'єднаного комплексу фізичних вправ (ОКФВ) [14], тому що вона має комплексний вплив як на ОРА, так і має ефекти позитивного впливу на внутрішні органи та психологічний стан людини.

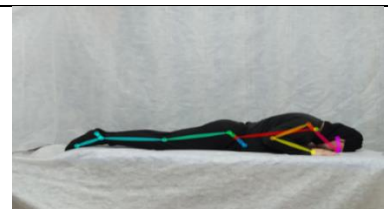


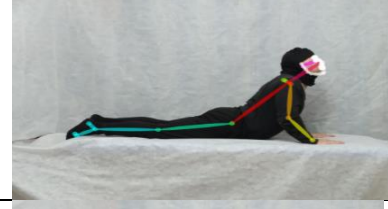


	Фаза 1. Початкова. Камери: Кф, Кп, Кл, Кз, Кв. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>20</sub> . Контроль виконання розташування рук, долонь, стоп, голови.
	Фаза 2. Підйом голови. Камери: Кф, Кп, Кл. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>14</sub> . Контроль виконання плавності руху голови, утримання пози.
	Фаза 3. Підйом тулуба. Камери: Кф, Кп, Кл. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>14</sub> . Контроль виконання плавності руху тулуба, стабільність голови, положення рук.
	Фаза 4. Підйом із руками. Камери: Кф, Кп, Кл. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>14</sub> . Контроль виконання плавності руху рук, тулуба..
	Фаза 5. Утримання пози. Камери: Кф, Кп, Кл. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>14</sub> . Контроль виконання стабільності пози, час виконання.
	Фаза 6. Завершення асани. Камери: Кф, Кп, Кл. Характерні точки Скелетона: Т <sub>1</sub> – Т <sub>14</sub> . Контроль виконання плавності руху.

Рис. 3.2. Фази асани «Кобра». Характеристики



Однак ця вправа вимагає дуже уважного виконання певних фаз руху, певних правил, нехтування якими може призвести до отримання травми на рівні шийного відділу хребта C7-Th1, поперекового відділу Th12-L1.

Робота будується в такий спосіб. Пацієнт виконує вправу (асану) багаторазово, зазвичай до 10 разів без великої напруги, всі його дії реєструється відеокамерою. Отриманий відеопотік обробляється та будується матриця еталонних рухів  $M_{ет}$ .

Умови відеореєстрації виконання вправи пацієнтом максимально відтворюють умови реєстрації в палаті або спеціально відведеному для заняття місці. Відстань, висота та нахили камери реєстрації виконання вправи однакові, і досягається завдяки спеціальній розмітці кімнати та засобів кріплення камер.

Отримавши інструкцію та оволодівши навичками виконання вправи, пацієнт отримує завдання самостійно проводити практику йоги у спеціальних обладнаних для цього місцях. Завдання пацієнта відтворювати максимально точно рухи по амплітуді, швидкості та прискорення у всіх фазах вправи. У процесі відеозапису рухів під час виконання асан будується матриця користувача  $M_{корис}$ .

Для оцінки правильності виконання вправи, визначення ймовірності виникнення дисфункцій в ОРА необхідно кількісно порівняти матриці  $M_{ет}$  та  $M_{пац.На}$  підставі порівняння векторів швидкості і скорочення точок, що відхиляються, формується другий рівень рекомендацій користувачу: якщо експериментально встановлені пороги швидкості та прискорення відповідно, то рух вважається правильно повтореним.

### **3.3 Приклад використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців під час вибору керуючих впливів та фізичних вправ**

Алгоритм вибору керуючих впливів (комплексу вправ) для курсу реабілітації в санаторних умовах представлена у додатку 3.

Роботу алгоритму розберемо на конкретному випадку з практики.

У санаторій на планове лікування поступив військовослужбовець К. з діагнозом (Виписка з історії хвороби, неврологічне відділення):

Діагноз: Неврастенія, помірно виражена, F-48.0. Вертеброгенна лівобічна люмбоішіалгія, стійкий помірно виражений больовий, м'язо-тонічний синдром. Межхребцевий остеохондроз поперекового відділу хребта. Гіпертонічна хвороба I стадії, ступінь I.

Після проведення дослідження постави даного хворого К за пунктом №1 алгоритму, отримуємо наступний результат, рис. 3.3.

Додатково проводимо тестування на виникнення болю в спині при нахилі тулуба вперед. На фото зафіксовано максимально можливе положення без болю, подальший нахил викликає різкий сильний біль (8 балів за візуальною аналоговою шкалою), рис. 3.4.

При аналізі параметрів за пунктом 2 схеми алгоритму робиться висновок про наявність порушень ОРА. На підставі аналізу зроблено висновок про необхідність розтягування великих і середніх сідничних м'язів, малих грудних, м'язів стегна, розтяжка підколінного сухожилля особливо праворуч, розтяжка попереково-клубового м'язу.

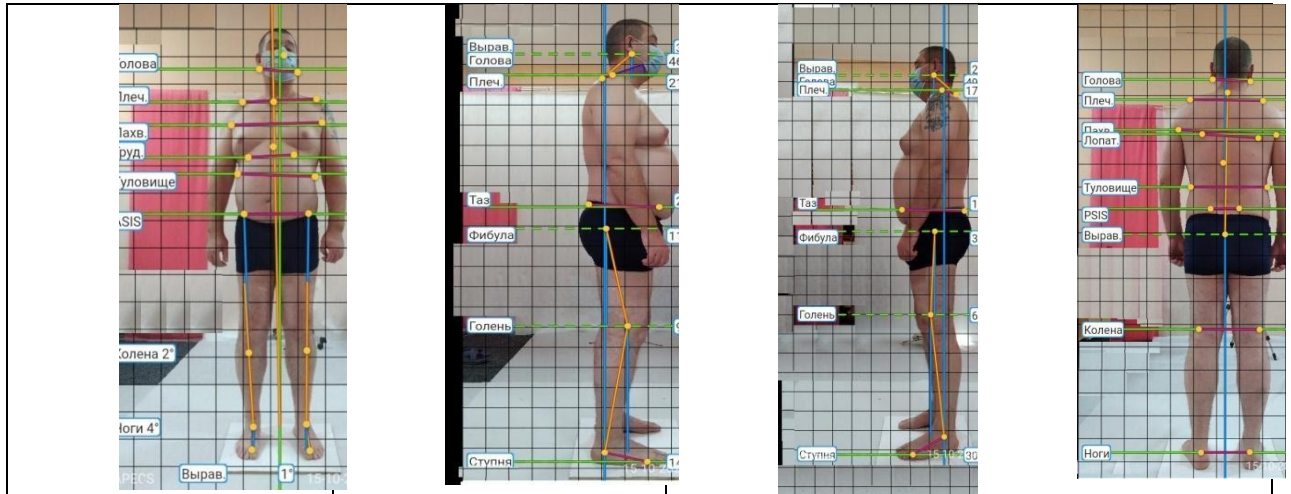


Рис. 3.3. Аналіз постави Стоячи. Пацієнт К.

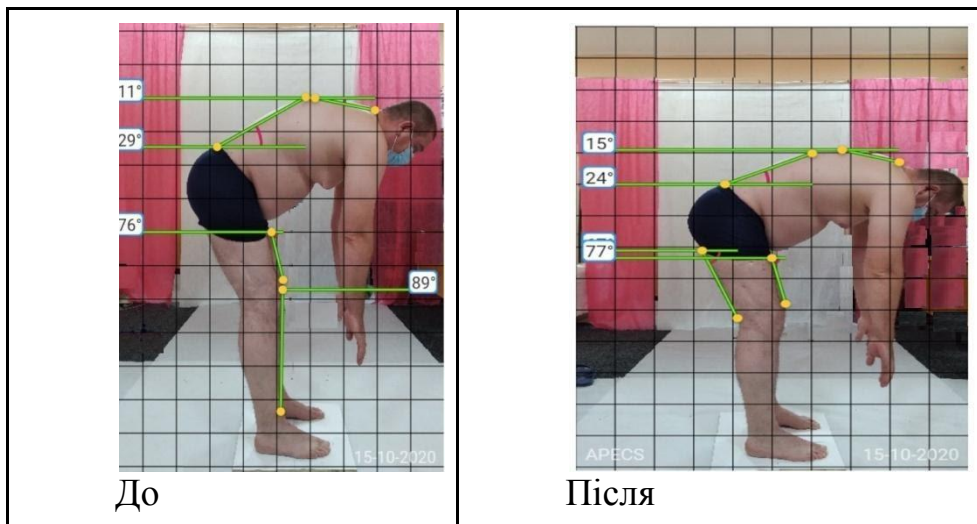


Рис.3.4. Результат зміни постави після лікувальних вправ. Пацієнт К.

Згідно з позицією 4 і 5 алгоритму обрані вправи справляють відповідний вплив на певні групи м'язів і за пунктом 6 алгоритму інструктор навчив правильному виконанню кожної обраної вправи.

При цьому виконанні вправ контролюються кути відведення кінцівок, що було і діагностичним параметром для протоколу дослідження, і мотивуючим фактором для пацієнта для виконання вправ самостійно.

Після виконання вправ проводиться повторне дослідження і аналіз даних, пункт 9, 10. У разі позитивної динаміки параметрів постави і самопочуття дані вправи (комплекс вправ) рекомендується для включення в реабілітаційну програму, проведено в санаторії (пункт 12 алгоритму).

У нашому прикладі, для пацієнта К, повторне тестування ОРА шляхом нахилу вперед (фото) показало: збільшення згинання хребта в поперековому (11 до 15) і грудному (29 до 24) відділі при повній відсутності болю, що є позитивним результатом і підставою включення в програму лікування. Параметри постави повторно проводяться після закінчення курсу лікування і порівнюються з початковими.

### 3.4 Приклад використання системи СВКМ у реабілітаційному процесі військовослужбовців для контролю та оцінки виконання руху

Алгоритм контролю за виконанням руху представлений у додатку 4.

Алгоритм включає в себе наступні етапи.

1. Вибір кількості повторень  $N$ .
2. При виконанні пацієнтом заданої вправи здійснюється розрахунок і порівняння контрольних параметрів руху з еталонними. Якщо параметри виходять за межі допустимих значень, пацієнту видаються сигнали про помилку і необхідність виправлення.
3. Контроль відбувається до тих пір, поки пацієнт не виконає задану кількість повторень  $N$ .
4. Підводяться підсумки і проводиться аналіз з оцінкою виконання вправи.

Оцінка виконаної вправи обчислюється за формулою:

$$Q_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_{p_1}(i) + Q_{p_2}(i) + \dots + Q_{p_n}(i)),$$

де  $Q_y$  – узагальнений параметр якості виконання вправи,

$Q_{p_1} \dots Q_{p_n}$  – оцінка якості виконання вправи по параметру  $P_1, P_2 \dots P_n$ ,

$N$  – кількість повторень,  $n$  – кількість параметрів контролю.

Якщо параметр узагальненої оцінки максимальний, і повторяється від заняття до заняття, то вправа ускладнюється або замінюється на нову, більш складну.

Пояснимо роботу алгоритму на прикладі вправи «Бічне розтягування м'язів стегна», рис. 3.5:

- Початкове положення: стоячи, ноги на ширині плечей.
- Робоче положення: відведення ноги в сторону, розтягування м'язів внутрішньої сторони стегна, скорочення м'язів стегна.
- Заключне положення: початкове.

Контрольовані параметри у вправі, визначаються по характерних точках скелетона (ХТ) (рис. 2.2):

P1 – положення голови, яке визначається по ХТ2, ХТ3;  
 P2 – положення плечей, яке визначається по ХТ7, ХТ8;  
 P3 – положення тазу, яке визначається по ХТ15, ХТ16 (на малюнку не показано);

P4 – положення стоп, яке визначається по ХТ23, ХТ24.

На фото показані етапи корекції руху, по параметру P4, параметри P1, P2 і P3 виконані вірно (для наочності, контрольовані параметри показані традиційно). Параметр P4, виправлено пацієнтом на етапі першого виконання вправи. Узагальнена оцінка – «5». Порівнюючи параметри на першому і останньому фото, бачимо поліпшення параметрів постави, що є підставою для ускладнення вправи.

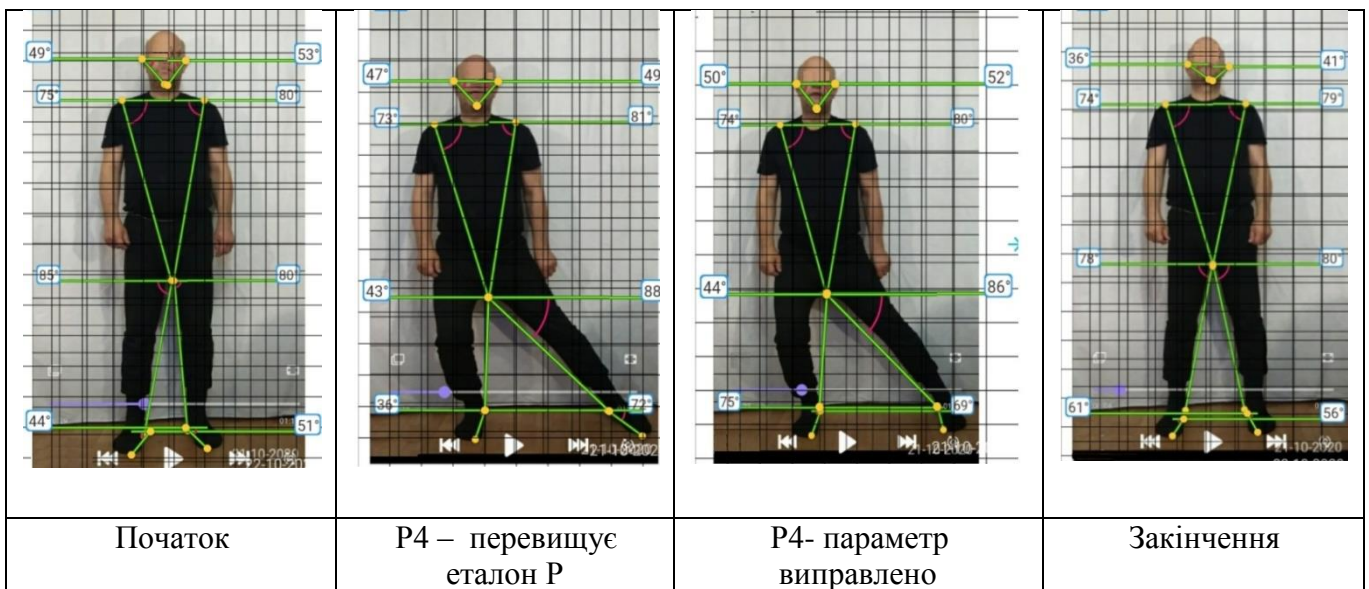


Рис.3.5. Алгоритм вправи «Бічне розтягування м'язів стегна»

### 3.5. Приклад застосування системи СВКМ для вимірювання та відстеження кутів нахилу голови

Система СВКМ дозволяє вимірювання та відстеження кутів нахилу голови у трьох площинах. Система реєструє такі події (рис. 3.6):

- Відведення голови вправо та вліво – кут  $\alpha$ ;
- Відведення голови вбік (праворуч, ліворуч) – кут  $\beta$ ;
- Відведення голови вперед та назад – кут  $\gamma$ ;

Виконується заміри наступних величин: мінімальний, максимальний та середній кути повороту за кожною із осей ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) у кожному напрямку (праворуч-ліворуч, вгору-вниз), а також кількість повторів поворотів.

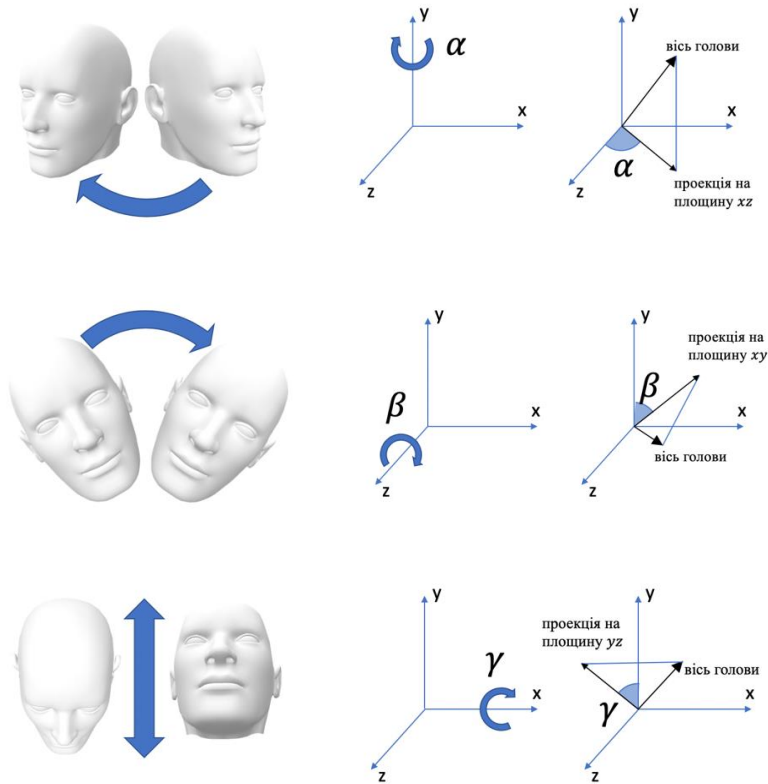


Рис. 3.6. Опис кутів поворотів голови

### Алгоритм

**Підсистема 1.** Алгоритм розпізнавання та відстеження ключових точок голови людини.

**Підсистема 2.** Відстеження динаміки кутів поворотів.

Значення кутів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  на поточному кадрі записуються в загальну історію. Для зменшення впливу випадкових шумів у відбувається згладжування значень. Як результат визначається середнє значення у вікні історії розміру  $K > 0$  навколо поточного значення.

Реєстрація поворотів голови відбувається тоді і лише тоді, коли значення поточних кутів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  знаходиться у певних межах (табл.3.1). При цьому значення  $\varepsilon = 12^\circ$ ,  $x = 1.5$

Таблиця 3.1. Умови реєстрації поворотів голови

№	Дія	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	Поворот голови праворуч	$\alpha > x\varepsilon$	$ \beta  < \varepsilon$	$ \gamma  < \varepsilon$
2	Поворот голови ліворуч	$-\alpha < -x\varepsilon$	$ \beta  < \varepsilon$	$ \gamma  < \varepsilon$



3	Нахил голови праворуч	$ \alpha  < \varepsilon$	$\beta > x\varepsilon$	$ \gamma  < \varepsilon$
4	Нахил голови ліворуч	$ \alpha  < \varepsilon$	$-\beta < -\varepsilon x$	$ \gamma  < \varepsilon$
5	Нахил голови вперед	$ \alpha  < \varepsilon$	$ \beta  < \varepsilon$	$\gamma > x\varepsilon$
6	Нахил голови назад	$ \alpha  < \varepsilon$	$ \beta  < \varepsilon$	$-\gamma < -\varepsilon x$

Елементи графічного інтерфейсу системи та реєстрації поворотів голови до та після лікування показані у додатку 5.

### 3.6 Приклад застосування системи СВКМ для аналізу виконання пацієнтом вправ з гантелями та гумками

На відміну від аналізу виконання асан з йоги при аналізі вправ з гантелями, нам достатньо використання лише однієї камери з боку пацієнта.

При використанні OpenPose [12] позиція опорних точок людини може бути виділена лише за допомогою звичайної RGB камери без додаткових сенсорів. Система є досить гнучка, вхідні дані можуть бути з камери в реальному часі чи відеозапису. Ми використовуємо OpenPose завдяки точності та швидкості локалізації опорних точок пацієнта.

Розглянемо аналіз вправи скручування на біцепс [7,9,10] – це вправа, яка ізолює біцепс, великий м'яз у верхній частині руки, що відповідає за згинання та скручування в лікті. При скручуванні на біцепс гантель піднімається вгору, обертаючись навколо ліктя з положення спокою, при цьому інші частини тіла залишаються нерухомими. Ця вправа спрямована на укріплення двоголового м'язу плеча або біцепсу. Поширені помилки під час виконання скручування на біцепс включають використання плеча, щоб допомогти підняти вагу вгору, а також підйом ваги не повністю.

У нашому евристичному алгоритмі ми враховуємо діапазон кута  $\psi$  між плечем і тулубом (рис. 3.7). Вимірювання відбувається, коли користувач крутить плечем при виконанні вправи. Мінімальний кут  $\phi$ , між плечем та передпліччям означає висоту, на яку користувач піднімає вагу. Кути обраховуються шляхом побудови векторів на точках  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ .

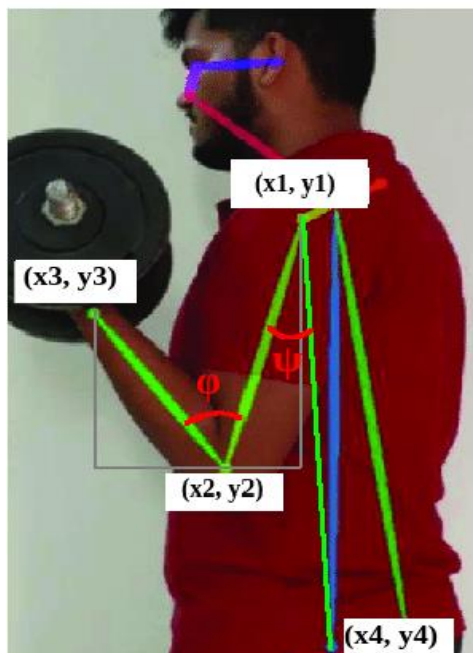


Рис.3.7. Вправа: скручування на біцепс

Якщо діапазон між плечем і тулубом виходить за  $35^\circ$ , ми визначаємо це як значне обертання плеча. На рис.3.8. продемонстрована зміна кута  $\psi$  при правильному та неправильному виконанні вправи (зліва направо).

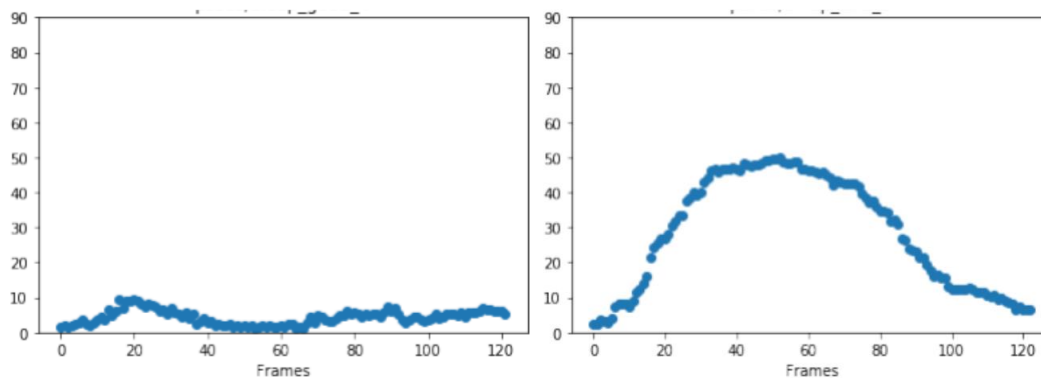


Рис. 3.8. Зміна кута  $\psi$  між плечем та тулубом

Якщо мінімальний кут між плечем та передпліччям більше за  $70^\circ$ , це означає невиконання вправи до кінця. На рис. 3.9 продемонстрована зміна кута  $\phi$  при правильному та неправильному виконанні вправи (зліва направо).

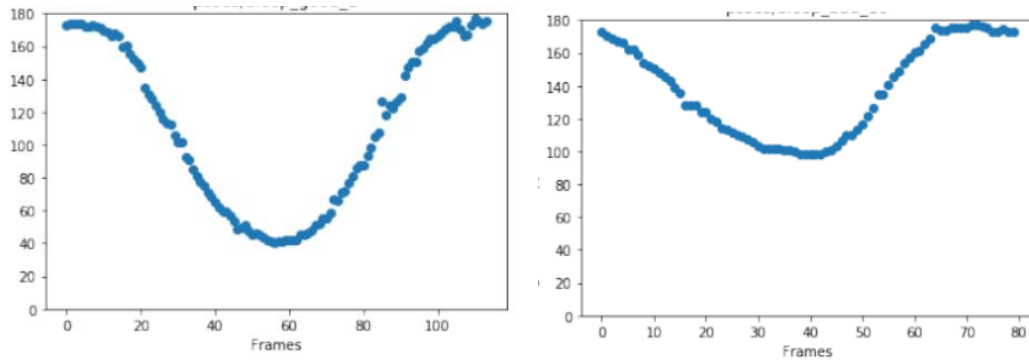


Рис.3.9. Зміна кута  $\phi$  між плечем та перепліччям

Підйом гантелей спереду – це вправа з вільною вагою, спрямована на плечі, зокрема на частину дельтоподібних м'язів. Користувач спочатку тримає гантелі на боці, а потім піднімає їх перед собою, переважно з прямими руками. Виконавець повинен тримати тіло нерухомим, щоб ізолювати навантаження на плечі, також піднімати гантелі слід трішки вище плечей, щоб виконати повний цикл вправи. Поширені помилки включають черезмірне напруження та використання рухів тулуба для полегшення навантаження, а також не піднімання вище плеч.

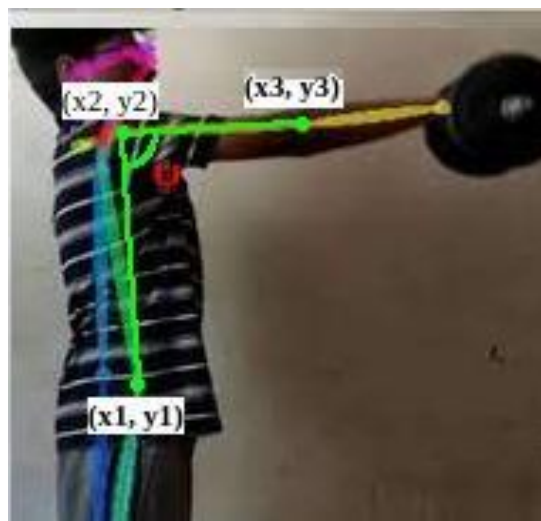


Рис.3.10. Вправа: підйом гантелей спереду

Геометричний алгоритм фронтального підйому вимірює горизонтальний діапазон руху спини, а також максимальний кут  $\psi$  між тулубом і рукою (рис. 3.10). Рух спини вимірюється шляхом обчислення найбільшої зміни вектора опорних точок спини протягом усього відеозапису, щоб визначити чи полегшує користувач піднімання ваги шляхом розхитування тулуба. Кут нахилу рук відносно тулуба, для того, щоб визначити чи повністю користувач виконує вправу.

Важливо, що наша система, побудована на обрахунку кутів між векторами частин тіла пацієнта, є досить гнучка в її налаштуваннях, адже кожен



пацієнт є унікальним і набір патології у кожного різний. В деяких випадках пацієнт, фізично або через сильний біль, не зможе підняти руку на певну висоту, а гнучке налаштування дозволить підлаштуватися під кожного і працювати в його робочому діапазоні.

Такий аналіз дає змогу досить точно підрахувати кількість виконаних циклів вправи та швидкість виконання. На перших етапах реабілітації, коли вправа виконується без додаткової ваги, дуже важливо, щоб пацієнт не робив повторення занадто швидко. Система має повідомити йому про це, підраховавши кількість виконаних повторень за хвилину.

### 3.7 Система підтримки прийняття рішень для виконання спеціалізованих вправ фірми OttoBock за вимогами МКФ

Фірма OttoBock визначила найнеобхідніші вправи для формування правильного патерну ходьби. Дані вправи використовуються в практиці фізичного терапевта на етапі підготовки пацієнта до протезування, в процесі протезування та після протезування. Це мінімально підібраний набір вправ, необхідних для формування та підтримки правильного патерна ходьби. Крім того, вони рекомендовані пацієнту для самостійного виконання у домашніх умовах, та забезпечуються комп'ютерними програмами супроводу, які відображають порядок виконання вправи на екран перед пацієнтом.

Завдання системи СВКМ – зареєструвати процес виконання вправи, проаналізувати якість його виконання та динаміку зміни якості, та видати рекомендації щодо зміни навантаження, з урахування вимог МКФ щодо складових індивідуального реабілітаційного плану: «функція», «структура», «активність».

Комплекс вправ  $E$ , фірми OttoBock включає в себе три типи практики: «Сила та витривалість»  $E^{SE}$ , «Координація та рівновага»  $E^{CB}$ , «Розтягнення та реалаксація»  $E^{SR}$ . Кожен тип вправ включає по 8 вправ, що мають 3 категорії складності (рис. 3.11).

Система СВКМ, на підставі Алгоритму контролю оцінки якості виконання вправ кожного виду практики  $E^{SE}$ ,  $E^{CB}$ ,  $E^{SR}$ , проводить оцінку якості виконання вправ для кожного виду практики відповідно  $Q^{SE}$ ,  $Q^{CB}$ ,  $Q^{SB}$ .

Оцінка виконаної вправи обчислюється за формулою, на прикладі вправи за типом практики «Сила та витривалість» зі складністю  $J$ :

$$Q^{SEj} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_1^{SEj}; Q_2^{SEj}; \dots; Q_N^{SEj}),$$

де  $Q^{SEj}$  – загальний параметр якості виконання вправи за типом практики «Сила та витривалість»  $E^{SEj}$ ,

$Q_1^{SEj}, \dots, Q_N^{SEj}$  – оцінка якості виконання вправи,

$N$  – кількість повторень,

$J$  – показник рівня складності вправи.

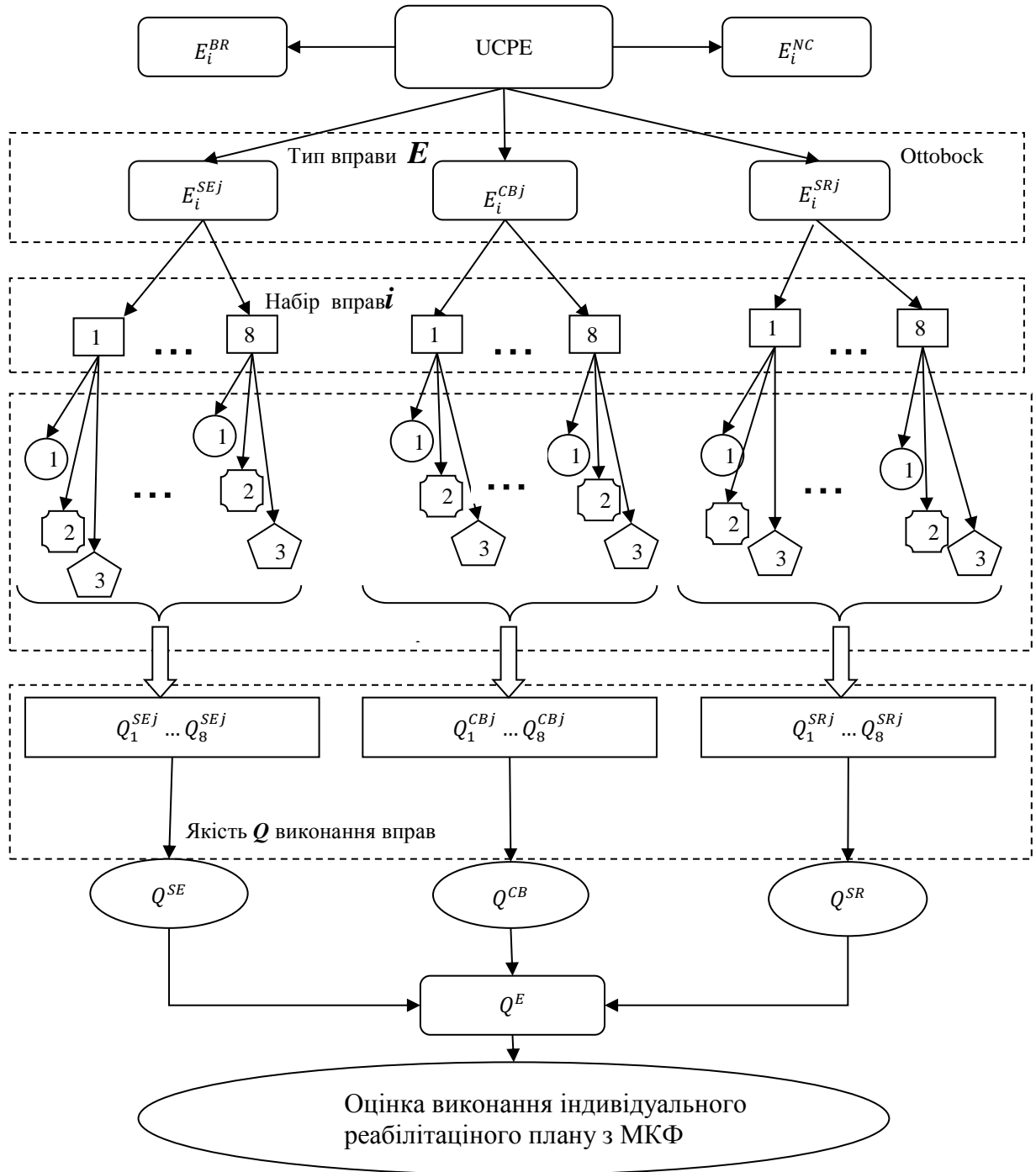


Рис.3.11. Схема оцінки якості виконання комплексу вправ Ottobock

Показник рівня складності вправи  $j$ , може приймати значення  $j = \{1,2,3\}$  або в якісному вираженні  $j = \{\text{Легкий, Середній, Складний}\}$ .

Кожному рівню складності відповідає якість виконання вправи, яка в якісному вираженні відповідає значенням «погано», «добре», «відмінно», а у кількісному вираженні  $j=1$  показник якості значення  $Q^j = \{0,1,2,3\}$ , для  $j=2$

показник якості значення  $Q^2=\{4,5,6\}$ , для  $j=3$  показник якості значення  $Q^3=\{7,8,9\}$ .

Алгоритм контролю оцінки якості виконання вправи наступний:

1. Розбиваємо на етапи виконання вправи: 1 Початок – Початкове положення; 2 – Дія з підйому частини тіла; 3 – Кінець – Початкове положення.

2. Визначення точок скелетону, параметрів та камер, що беруть участь у контролі оцінки якості виконання вправи.

3. Порівняння параметрів з еталоном, визначеним для даної вправи, та з власним контролем якості  $Q_{\text{по}}$  виконанню вправи.

Практики, які пропонує фірма OttoVocK, мають різноспрямовану дію на ОРА.

Отже, необхідні параметри відеоаналізу рухів системи СВКМ, під час виконання вправ з цих практик, такі:

- 1) час виконання однієї вправи –  $t$ ;
- 2) темп виконання комплексу вправ –  $H_i$ ;  $H_1$ ;  $H_2$ ;  $H_3$ ;  $H_4$ ;
- 3) час початку і кінця кожної фази вправи (тривалість фази) –  $t_0$ ,  $t_E$ ;
- 4) швидкість критичних елементів ОРА –  $v_{Ti}$ ;
- 5) прискорення критичних елементи в ОРА –  $a_{Ti}$ ;
- 6) обсяг руху шкірного елемента ОРА –  $V^0$ .

Тоді, згідно зі схемою оцінки якості виконання комплексу вправ Ottobock (рис. 3.11), після виконання комплексу вправ з кожного виду практики  $E^{SE}$ ,  $E^{CB}$ ,  $E^{SR}$ , отримуємо множину оцінок якості виконання по кожному типу практики:

$$\begin{aligned} Q^{SEj} &= \{Q_1^{SEj}, \dots, Q_i^{SEj}, \dots, Q_8^{SEj}\}, \\ Q^{CBj} &= \{Q_1^{CBj}, \dots, Q_i^{CBj}, \dots, Q_8^{CBj}\}, \\ Q^{SRj} &= \{Q_1^{SRj}, \dots, Q_i^{SRj}, \dots, Q_8^{SRj}\}, \end{aligned}$$

де  $j$  – показник рівня складності вправи.

Оцінку якості виконання за кожним видом практики знаходимо за формулою:

$$\begin{aligned} Q^{SEj} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Q_i^{SEj}, \\ Q^{CBj} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Q_i^{CBj}, \\ Q^{SRj} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Q_i^{SRj}. \end{aligned}$$

Виконання комплексу розпочинається з початкового рівня складності «Легкий» ( $j=1$ ) і поступово піднімається до максимально виконуваного рівня (виконується разом з фізичним терапевтом).

Таким чином, пацієнт має завдання із встановленим рівнем складності для самостійного виконання.

Діапазон показника якості 0-9.

Узагальнений показник якості виконання всього комплексу вправ фірми OttoVocK:

$$Q^E = \frac{1}{3}(Q^{SE} + Q^{CB} + Q^{SR}).$$

Узагальнений показник якості лежить в діапазоні 0-9 і має такі якісні градації: Погано: 0-3; Добре: 4-6; Відмінно: 7-9.

Інформація надається членам мультидисциплінарної команди у вигляді графіків і діаграм.

Таким чином, система СВКМ, шляхом відеоаналізу виконання вправи пацієнтом самостійно з використанням технологій скелетон, коригує вправу та дає оцінку якості виконання. Динаміка змін якості виконання дає інформацію за категоріями: «без змін», «слабке поліпшення», «значне покращення», «дуже значне покращення», та є інформацією для переходу на новий рівень складності. Інформація про виконання надається кількісними та якісними параметрами за вимогами МКФ та може практично використовуватись при виконанні індивідуального реабілітаційного плану.

Схема оцінки якості виконання комплексу вправ Ottobock як складової частини UCSPE:  $E^{BR}$  – комплекс вправ дихання,  $E^{NC}$  – комплекс нейрокогнітивних вправ,  $E^{SE}$  – комплекс вправ «Сила та витривалість»,  $E^{CB}$  – комплекс вправ «Координація та баланс»,  $E^{SR}$  – комплекс вправ «Розтягування та розслаблення»,  $Q^{SE}$  – якість виконання комплексу вправ «Сила та витривалість»,  $Q^{CB}$  – якість виконання комплексу вправ «Координація та баланс»,  $Q^{SR}$  – якість виконання комплексу вправ «Розтягування та розслаблення»,  $Q^E$  загальна якість виконання комплексу вправ.

## Висновок

У цій роботі розглядаємо як систему візуалізації та комп'ютерного моделювання (СВКМ) можна використовувати для покращення якості проведення реабілітації для військовослужбовців з використанням вимог Міжнародної класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я (МКФ).

За основу прийнято досвід побудови системи СВКМ для військовослужбовців з дисфункціями ОРА, отриманих внаслідок травм, поранень та бойового стресу. Проте, з початком великомасштабних військових дій на території України група пацієнтів суттєво змінилася та ними стали пацієнти з ампутацією нижньої кінцівки.

Проаналізувавши методичні рекомендації Військової академії, Центрального військового госпіталю дійшли висновку, що такі методи та засоби фізичної терапії можуть аналізуватись з використанням системи СВКМ: контроль за виконанням фізичних вправ із дозованим навантаженням; оцінка постави та обсягу елементарних рухів, контроль за виконанням силових вправ нижньої кінцівки та плечового пояса; тренування вестибулярної системи шляхом виконання спеціальних рухів голови, вправи для грудного відділу хребта, м'язів стегна та інші.

У роботі показано, як можна використовувати систему СВКМ для вирішення таких цілей. Крім того, показана методика, як проводити оцінку динаміки реабілітації, переходити на більш складний рівень вправ при виконанні комплексу фірми Otto Vock (на силу та витривалість, координацію та стабільність, гнучкість та розслаблення).

Можливості використання системи СВКМ показані у найуразливішому періоді реабілітації пацієнта, коли він змушений виконувати весь комплекс фізичних вправ самостійно.

Накопичення даних про перебіг реабілітаційного процесу у кількісному та якісному вигляді дозволяє накопичувати дані в одному форматі та у майбутньому використовувати технології BigData, що дозволить використовувати методи доказової медицини, будувати базові індивідуальні програми реабілітації.

Досвід використання системи СВКМ може поширюватися на інші групи пацієнтів, у тому числі на осіб з ампутованими кінцівками через діабет, атеросклероз, пацієнтів з іншими групами захворювання (серцево-судинної, нервової системи), на осіб, що працюють на підприємствах критичної інфраструктури.

Використання розглянутої технології візуалізації та комп'ютерного моделювання для проведення реабілітаційних заходів вимагає від усіх членів мультидисциплінарної команди, лікарів ФРМ отримання нових знань та досвіду. Це дозволить створити умови для ширшого використання системи СВКМ у практичній медицині. Сподіваємося, що ці методичні рекомендації сприятимуть цьому.

### Список використаних літературних джерел

1. Трансформерна інформаційна технологія у вдосконаленні рухової активності в нормі та патології. Сучасні технології в реабілітації та лікуванні нейром'язовоскелетних розладів. Матеріали науково-практ. конф. з міжнародною участю, м.Київ, 20-21 квітня 2017р. //К.: «Центр учбової літератури». – 2017. – С.24-25.
2. Горбунов О.,Осадчий Е., Терещенко В., Деякі питання створення концептуальної моделі інформаційної системи управління оздоровленням військовослужбовців. *World Science*. – 2019.– 11(51). Warsaw: RS Global Sp. z O.O. – С.40-44. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30112019/6765](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6765)
3. Горбунов О.А. Особливості побудови програм реабілітації військовослужбовців та учасників бойових дій в санаторно-курортних умовах з використанням інформаційних технологій / О.А. Горбунов, В.О. Осадчий, Ю.В. Кляцький, В.М. Терещенко // Матеріали науково-практичної конференції, науково-практичної конференції з міжнародною участю «Санаторно-курортне лікування та оздоровлення: сучасні тенденції розвитку». – Одеса: Поліграф. – 2021. – С. 61-63.

4. Медична реабілітація військовослужбовців в системі медичного забезпечення Збройних Сил України (методичні рекомендації) / А.В. Верба, О.А. Барбазюк, П.І. Мех, А.Ю. Кіх, А.П. Казмірчук, В.І. Рудь, О.В. Горішна, О.М. Волянський, А.В. Швець, Р.І. Данилків, І.М. Льовкін / під заг. ред. доктора медичних наук А.М. Галушки. – К., 2017. – 102 с.
5. L. Lienhard. Training beginnt im Gehirn. Mit Neuroathletik die sportliche Leistung verbessern. Riva. – 2021. – 272 с. ISBN: 978-3-7423-0762-0
6. Kotsur D., Tereshchenko V. Optimization Heuristics for Computing the Voronoi Skeleton. Computational Science. ICCS 2019. – Springer. – Volume 11536.
7. Горбунов О. Алгоритми побудови скелета систем реабілітації / О. Горбунов, П. Щербина // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та автоматизація – 2021». Одеса, ОНАХТ. – С. 196-197.
8. Болтенков, В. А. Двовимірна проєктивна модель руху тіла людини та її застосування у завданнях телемедицини / В.А. Болтенков, Г.К. Нгуен // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – Т. 4. – № 4. – С. 312-323.
9. Горбунов О.А., Щербина П.А. Алгоритми побудови скелетону для системи реабілітації. Матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології і автоматизація, Одеса, 21–22 жовт. 2021 р. – С. 196-197.
10. Горбунов О.А., Щербина П.А. Розробка системи комп'ютерного моделювання та аналізу рухів людини у центрах реабілітації. матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології і автоматизація. – Одеса, 2022. – С. 250-252.
11. Коцур Д.В. Побудова моделі єдиного алгоритмічного середовища на основі діаграми Вороного для розв'язування комплексу задач обробки зображень // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – 2019.
12. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields // IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE. – 2019.
13. MediaPipe [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://developers.google.com/mediapipe>
14. V. Zaslavskyi, O. Horbunov. “The type-variety principle in ensuring the reliability, safety and resilience of critical infrastructures”. In: Gaivoronski A.A., Knopov P.S., Zaslavskyi V.A. [eds.] *Modern Optimization Methods for Decision Making Under Risk and Uncertainty*. – CRC Press, Boca Raton. – 2023. – P. 245-274. [doi.org/10.1201/9781003260196](https://doi.org/10.1201/9781003260196)

## Додаток 1

## Лист обстеження Верхня кінцівка

## 1. Загальні відомості про пацієнта Дата реєстрації \_\_\_\_\_

тел. \_\_\_\_\_

			рія:
Медична карта		Лікар:	Термін лікування:
Клінічний діагноз			
Скарги			

## 2. Обстеження та визначення реабілітаційного потенціалу пацієнта / в динаміці/



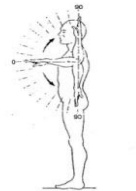
Шкала	Норма	кінцівка	Обстеження	
			Дата:	Дата:
динамометрія ручна кисті	50	права		
		ліва		
Сила розгинання кисті руки Шкала: 6 балів	6 балів	права		
		ліва		
Сила згинання кисті руки Шкала: 6- балів	6 балів	права		
		ліва		
Об'єм м'язів плеча	см	права	Дельта	Дельта
		ліва	см	см
Об'єм м'язів передпліччя	см	права	Дельта	Дельта
		ліва	см	см


Модифікована лицьова шкала болю :0 – немає болю, 10 - біль до сліз

	балів	права		
		ліва		

Шкала	Норма	кінцівка	Обстеження	
			Дата:	Дата:

## Плечовий суглоб

Відведення прямої руки в сторону	0 <sup>0</sup> -180 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Амплітуда відведення в лопаточно-плечовому суглобі, коли лопатка і плечовий пояс стабілізовані.	0 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Обертання плечової кістки всередину і назовні при зігнутою під прямим кутом в ліктьовому суглобі руки і горизонтальному положенні передпліччя	-90 <sup>0</sup> -0-+90 <sup>0</sup>	права	
		ліва	

Визначення внутрішньої ротації плеча. Порівнюється степінь рухомості обох плечей.		права	
		ліва	


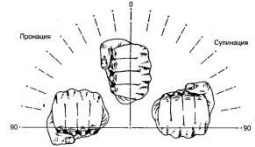
Об'єм нормального руху згинання в ліктьовому суглобі	90 <sup>0</sup> -160 <sup>0</sup>	права		
		ліва		
Об'єм нормального руху розгинання в ліктьовому суглобі	90 <sup>0</sup> -160 <sup>0</sup>	права		
		ліва		
Об'єм нормального руху /пронація і супінація/ кисті і передпліччя В.П. пальці стислі в кулак	+90 <sup>0</sup> /-90 <sup>0</sup>	права		
		ліва		

Рис. 7.12. Об'єм нормального движенья (пронация и супинация) кисти и

## Лист обстеження Нижня кінцівка

### 1. Загальні відомості про пацієнта Дата реєстрації

тел.

ПІБ		Вік:	Категорія:
Медична карта		Лікар:	Термін лікування:
Клінічний діагноз			
Скарги			

### 2. Обстеження та визначення реабілітаційного потенціалу пацієнта / в динаміці/

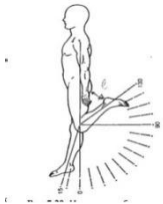
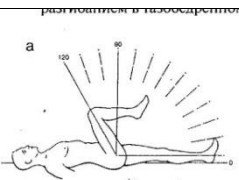
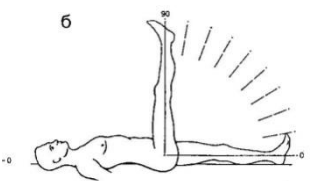
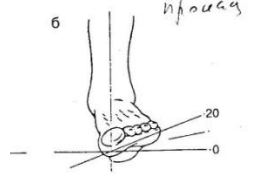
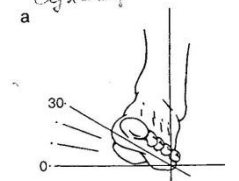
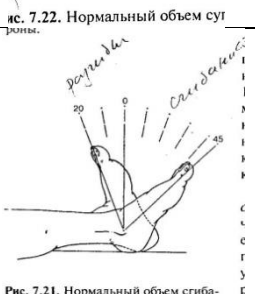
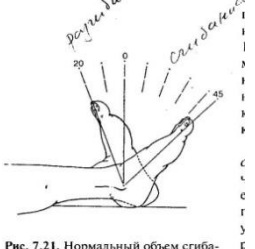
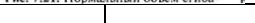
#### 2.1. Модифікована лицьова шкала болю /0 балів -немає болю, 10 балів - біль до сліз/

Шкала	Норма	кінцівка	Первинне обстеження	Кінцеве обстеження
	бал	права		
		ліва		

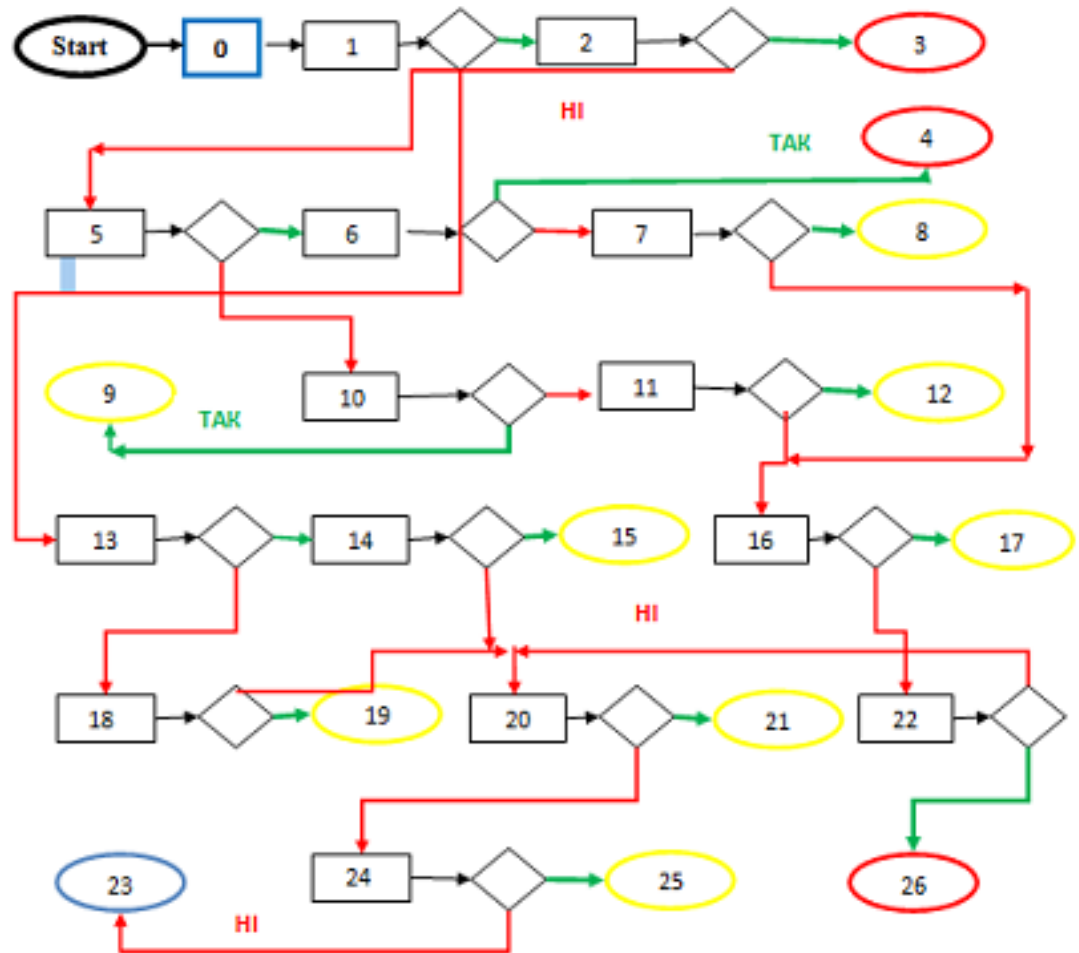
#### 2.2. Обстеження.

Шкала	Норма	Кінцівка	Первинне обстеження	Кінцеве обстеження
			Дата	Дата:
Тест на 10 м. по коридору.	Сек.			
Динамометрія ручна кисті	50	права		
		ліва		
Обсяг стегна 15	см	права		
		ліва		
Обсяг стегна 10	см	права		
		ліва		
Обсяг гомілки 13	см	права		
		ліва		
Обсяг стопи	см	права		
		ліва		
Обсяг гомілкостопу	см	права		
		ліва		
Обсяг коліно		права		
		ліва		
Сила розгинання коліна	бал	права		
		ліва		
Сила згинання коліна	бал	права		
		ліва		
Кут розгинання коліна	1800	права		
		ліва		



Обсяг рухів в колінному суглобі П.П. лежачи на спині	135 <sup>0</sup> -150 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Обсяг згинання в кульшовому суглобі зігнутою ногою П.П. лежачи на спині	Град.	права	
		ліва	
Обсяг згинання в кульшовому суглобі зігнутою в колінному суглобі нозі П.П. лежачи на спині	Град.	права	
		ліва	
Обсяг пронації стопи /стопа повернута назовні/	20 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Обсяг супінації стопи /стопа повернута всередину/	30 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Гомілкостоп кут розгинання пасивне, /без посилення лікаря/	20 <sup>0</sup>	Права 5 <sup>0</sup> /	
		Ліва	
Гомілкостоп кут згинання пасивне, /без посилення лікаря/	135 <sup>0</sup>	права	
		ліва	
Рух стопи	1 бал	права	
		ліва	

**Додаток 2**  
**Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини**  
**(пацієнтів) при дисфункціях у шийному відділі хребта**



Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини при дисфункціях у шийному відділі хребта та блоку «0», де:

0 – Універсальний Блок «0» системи СВКМ для визначення дисфункції ОРА., який представлений на рис. 3.1.

1 - Ваш біль розвивався протягом кількох годин?

2 - Чи є у вас ригідність шиї в поєднанні з будь-яким із таких симптомів: сильний головний біль, висип, нудота або блювота, відраза до яскравого світла, сонливість або сплутаність свідомості?

3 - негайно зверніться за медичною допомогою: це може бути менінгіт або крововилив у мозок.

4 - негайно зверніться за медичною допомогою: можливо, травма спинного мозку.

5 - Чи відчували ви сильний поштовх за останній день або два, наприклад, якби ви потрапили в автомобільну аварію?

6 - Чи відчували ваші кінцівки слабкими, чи ви відчували труднощі з контролем м'язів ніг або рук після цієї травми?

7 - Чи біль обмежується вашою шиєю, і чи почався він не пізніше ніж через кілька годин після того, як ви отримали цю травму?

8 - Незабаром зверніться до лікаря: ймовірно, це хлстова травма, яка виникає внаслідок сильного поштовху голови вперед-назад або вбік.

9 - Зверніться до лікаря: ймовірно, гостра кривошия, буквально «скручена шия», яка часто є результатом сну в незручній позі.

10 - Ваша шия дуже жорстка і болить, коли ви прокидаєтеся вранці?

11 - Чи біль обмежується вашою шиєю, і чи почався він не пізніше ніж через кілька годин після того, як ви отримали цю травму?

12 - Незабаром зверніться до лікаря: ймовірно, це хлстова травма, яка виникає внаслідок сильного поштовху голови вперед-назад або вбік.

13 - Чи біль або скутість постійно розвиваються протягом кількох місяців?

14 - Чи є у вас періодичне оніміння або поколювання в руках, чи вам більше 50 років?

15 - Зверніться до лікаря: ймовірно, остеоартрит (біль, спричинений дегенерацією фасеткового суглоба).

16 - Чи відчуваєте ви біль, оніміння або поколювання, що поширюються вниз по одній руці, можливо, до кисті, що посилюється під час певних рухів шиєю?

17 - Незабаром зверніться до лікаря: це може бути протрузія диска, яка стискає спинномозкові нерви та спричиняє біль у руці.

18 - Ваш біль або скутість виникли після епізоду гострого болю в шиї?

19 - Зверніться до лікаря: ймовірно, тригерні точки від м'язів, які утримуються в напруженому положенні протягом тривалого часу.

20 - Чи посилюється ваш біль після тривалого перебування в одній позі, наприклад, за столом?

21 - Зверніться до лікаря: ймовірно, постуральний біль, що виникає через перевантаження м'язів або суглобів через позу, або м'язову напругу, часто відповідь на стрес.

22 - Чи є у вас біль у плечі, який посилюється, коли ви вдихаєте, або у вас кашель чи температура?

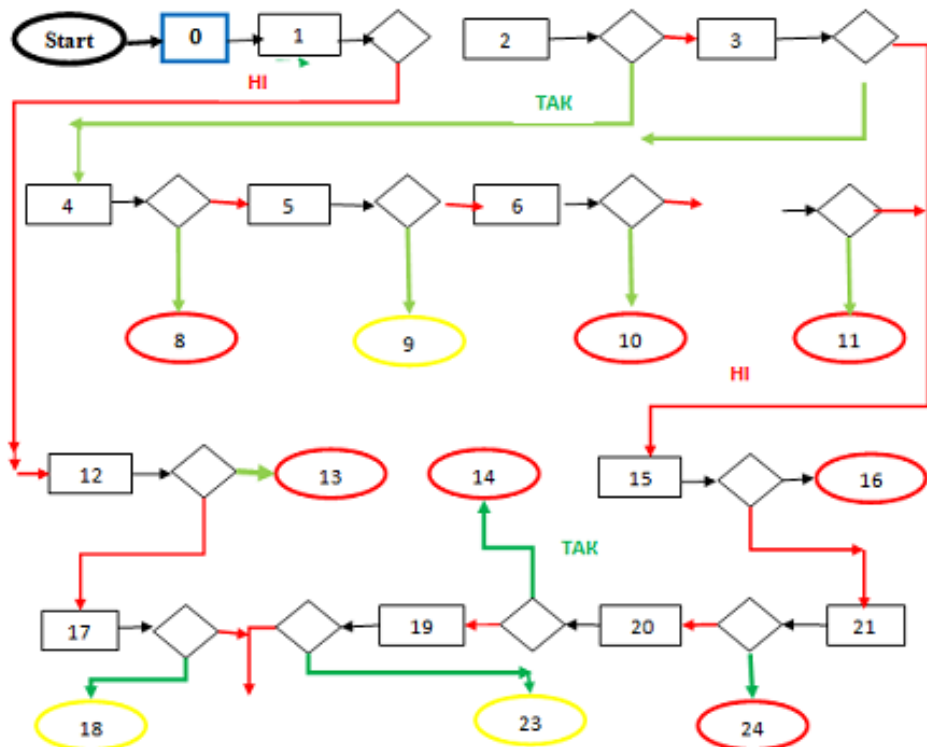
23 - Зверніться до лікаря для діагностики.

24 - Чи перебуваєте ви зараз у стані стресу чи переживаєте якийсь емоційний конфлікт?

25 - Зверніться до лікаря: можливо, м'язова напруга, яка часто є відповіддю на стрес.

26 - Зверніться до лікаря протягом 24 годин: це може бути пневмонія або плеврит.

**Додаток 2 (продовження)**  
**Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини**  
**(пацієнтів) при дисфункціях у грудному відділі хребта**



Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини при дисфункціях у грудному відділі хребта та блоку «0», де:

0 – Універсальний Блок «0 системи СВКМ для визначення дисфункції ОРА, який представлений нарисунку 3.1

1- Ваш біль посилюється всього за кілька годин?

2- Ваш біль різкий, іррадіює в одну чи обидві сторони грудної клітки, і чи посилюється він, коли ви вдихаєте?

3- Ваш біль посилюється, коли ви рухаєтесь або змінюєте своє положення?

4- Ваш біль почався незабаром після того, як ви отримали прямий удар по ураженій ділянці?

5- Ваш біль почався після незначного руху, наприклад перевертання в ліжку?

6 - Чи є ваш біль сильним і постійним, ви літній чи скоріше слабкий?

7 - У вас кашель, утруднене дихання, інші респіраторні проблеми чи температура?

8 - негайно зверніться за медичною допомогою: це може бути тріщина або зламане ребро або більш серйозна травма хребта.

9 - Незабаром зверніться до лікаря: ймовірно, або дисфункція фасеткового суглоба внаслідок раптового скручування суглоба, або випинання диска, що стискає спинномозкові нерви.

10 - Негайно зверніться за медичною допомогою: можливо, перелом, який може бути спричинений віковим ослабленням ваших кісток.

11 - Зверніться до лікаря протягом 24 годин: це може бути плеврит, пневмонія або бронхіт.

12 - Чи відчуваєте ви загалом погано, і чи біль постійно розвивався протягом кількох тижнів або місяців?

13 - Зверніться до лікаря протягом 24 годин: це може бути абсцес або пухлина.

14 - Негайно зверніться за медичною допомогою: можливо, виразка шлунка або панкреатит.

15 - Чи відчуваєте ви сильний біль, який нагадує коліки та віддає в пахову область?

16 - Негайно зверніться за медичною допомогою: це можуть бути камені в нирках.

17 - Ваш біль полегшується зміною положення або пересуванням?

18 - Зверніться до лікаря: ймовірно, постуральний біль, що виникає через перевантаження м'язів або суглобів через позу.

19 - Чи був ваш біль після інтенсивної діяльності або виснажливих фізичних вправ?

20 - Ваш біль посилюється після їжі, чи є у вас хронічне розлад травлення, чи ви багато п'єте?

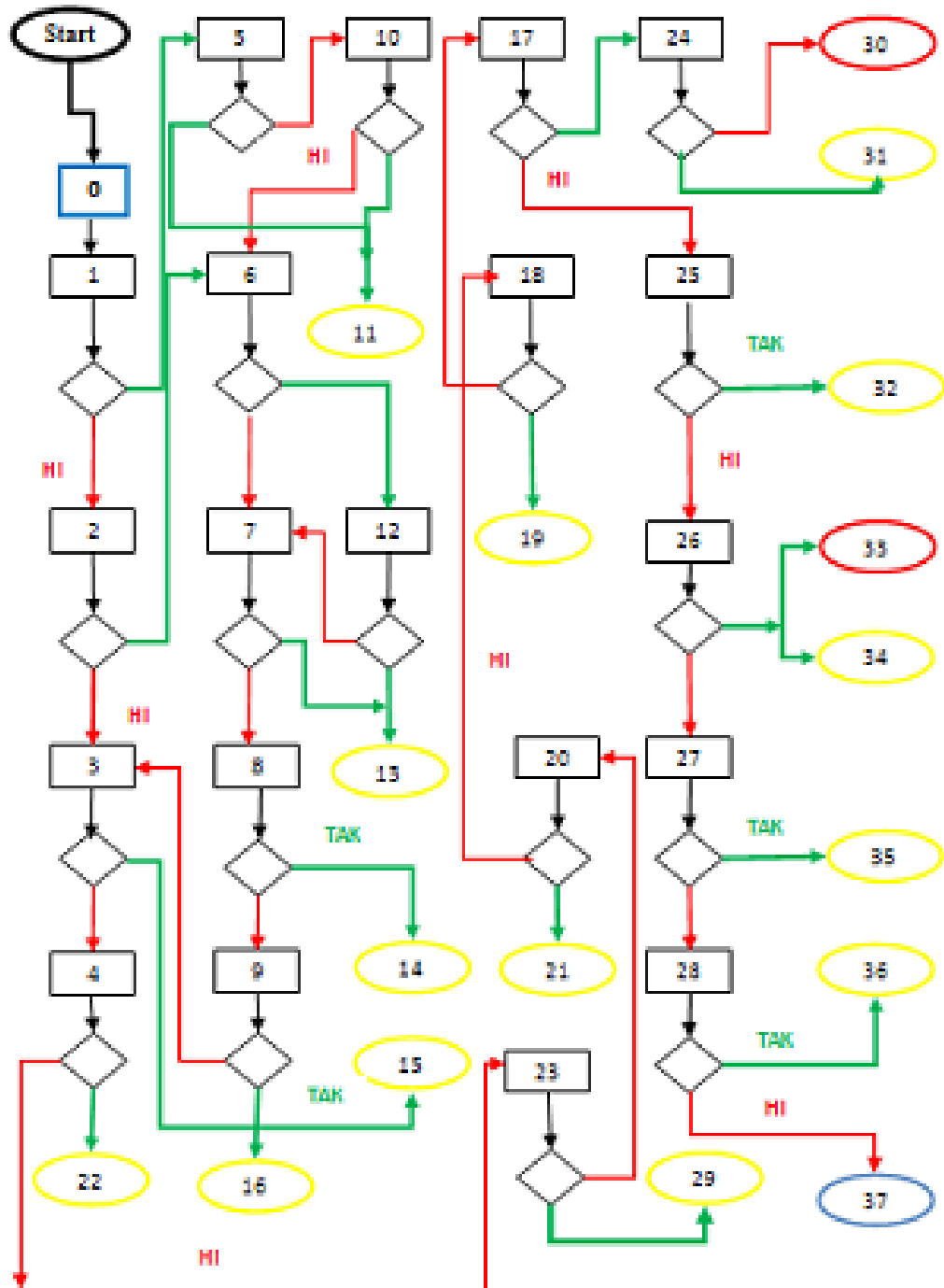
21 - Чи болить у вас ділянка нирок, чи боляче сечовипускання, чи помітили кров у сечі?

22 - Зверніться до лікаря для діагностики.

23 - Зверніться до лікаря: ймовірно, проблема з м'язами, яка часто є реакцією на стрес.

24 - Негайно зверніться за медичною допомогою: можливо, гостра інфекція нирок.

**Додаток 2 (продовження)**  
**Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини**  
**(пацієнтів) при дисфункціях у поперековому відділі хребта**



Алгоритм виявлення патологічних станів в організмі людини при дисфункціях у поперековому відділі хребта та блоку «0», де:

0 - Універсальний Блок «0» системи СВКМ для визначення дисфункції ОРА, представлений на рисунку 3.1.,

1 - Біль у попереку посилюється не більше ніж за кілька годин?

2 - У вас біль поширюється на одну чи обидві ноги?

3 - Ваш біль переважно в одній сідниці, можливо, у поєднанні з болем, що поширюється вниз по задній частині стегна?

4 - Ваш біль здебільшого в області стегна або паху, можливо, поширюється вниз по передній частині ноги, і чи він посилюється під час ходьби?

5 - Чи з'явився біль після незручного повороту або згинання, або після підняття важких речей?

6 - Чи біль у вашій нозі посилюється не більше ніж за кілька годин?

7 - У вас постійний або періодичний біль у нозі, супроводжується він онімінням або поколюванням?

8 - Чи є у вас біль у литкових м'язах, викликаний помірними фізичними навантаженнями, такими як швидка ходьба?

9 - Чи є у вас біль або неприємні відчуття в обох ногах, спричинені тривалим стоянням або ходьбою?

10 - Чи з'явився біль після, здавалося б, незначного руху?

11 - Незабаром зверніться до лікаря: це може бути гострий біль у попереку, ймовірно, спричинений протрузією або розривом диска, що дозволяє м'язу центру диска випинатися, або розтягненням фасеткового суглоба.

12 - У вас різкий, стріляючий біль, який поєднується з онімінням або поколюванням в одній із ваших ніг?

13 - Незабаром зверніться до лікаря: це може бути радикуліт, викликаний протрузією диска, стенозом бічного каналу або синдромом грушоподібної м'язи.

14 - Зверніться до лікаря: можливо, поганий кровообіг.

15 - Зверніться до лікаря: це може бути розтягнення або запалення крижово-клубової кістки, дисфункція середнього сідничного м'яза (розтягнення сідничного м'яза) або синдром грушоподібної м'язи.

16 - Незабаром зверніться до лікаря: це може бути стеноз центрального каналу або спондилолістез.

17 - Чи є у вас епізоди сильного болю в спині з відчуттям, що ваша спина замикається в одному положенні?

18 - Ви середнього або похилого віку, у вас загальний біль у спині, що посилюється після активності або в холодну погоду?

19 - Зверніться до лікаря: ймовірно, остеоартроз, біль, спричинений дегенерацією фасеткового суглоба.

20 - Вам менше 30 років, і чи вважаєте ви, що ваш біль і скутість полегшуються помірними вправами?

21 - Зверніться до лікаря: можливий анкілозуючий спондилоартрит, форма артрити хребта.

22 - Зверніться до лікаря: проблеми з тазостегновим суглобом, можливо, викликані остеоартритом.

23 - Чи є у вас гнучкі суглоби, чи ваш біль посилюється після тривалого стояння або сидіння?

24 - Чи це накладається на загальний фоновий біль і чи погіршується після тривалого сидіння?

25 - Чи поєднується ваш біль у спині з будь-якими іншими медичними проблемами, такими як коліт, біль в очах, висип на шкірі або виділення з уретри?

26 - Біль у спині поєднується з болем у животі?

27 - Ви почуваетесь погано, у вас слабкий апетит і ви втрачаєте вагу?

28 - Ви робили операцію на спині?

29 - Зверніться до лікаря: можливо, постуральний біль, спричинений розтягненням зв'язок або стисненням фасеткових суглобів.

30 - Зверніться до лікаря: ймовірно, нестабільність поперекового відділу, ослаблені зв'язки, що послаблює поперековий відділ хребта.

31 - Зверніться до лікаря: можливо, поперекова нестабільність або гіпермобільність у поєднанні з розтягненням зв'язок.

32 - Зверніться до лікаря: можливо, запалення крижово-клубових суглобів.

33 - Якщо ви жінка, зверніться до лікаря протягом 24 годин: це може бути опущення матки, інфекція тазових органів або менструальний біль.

34 - Якщо ви чоловік, швидше зверніться до лікаря: можливо, розлад кишечника.

35 - Швидше зверніться до лікаря: можливо, це інфекція чи пухлина, або ви страждаєте від депресії.

36 - Швидше зверніться до лікаря: операція могла бути невдалою.

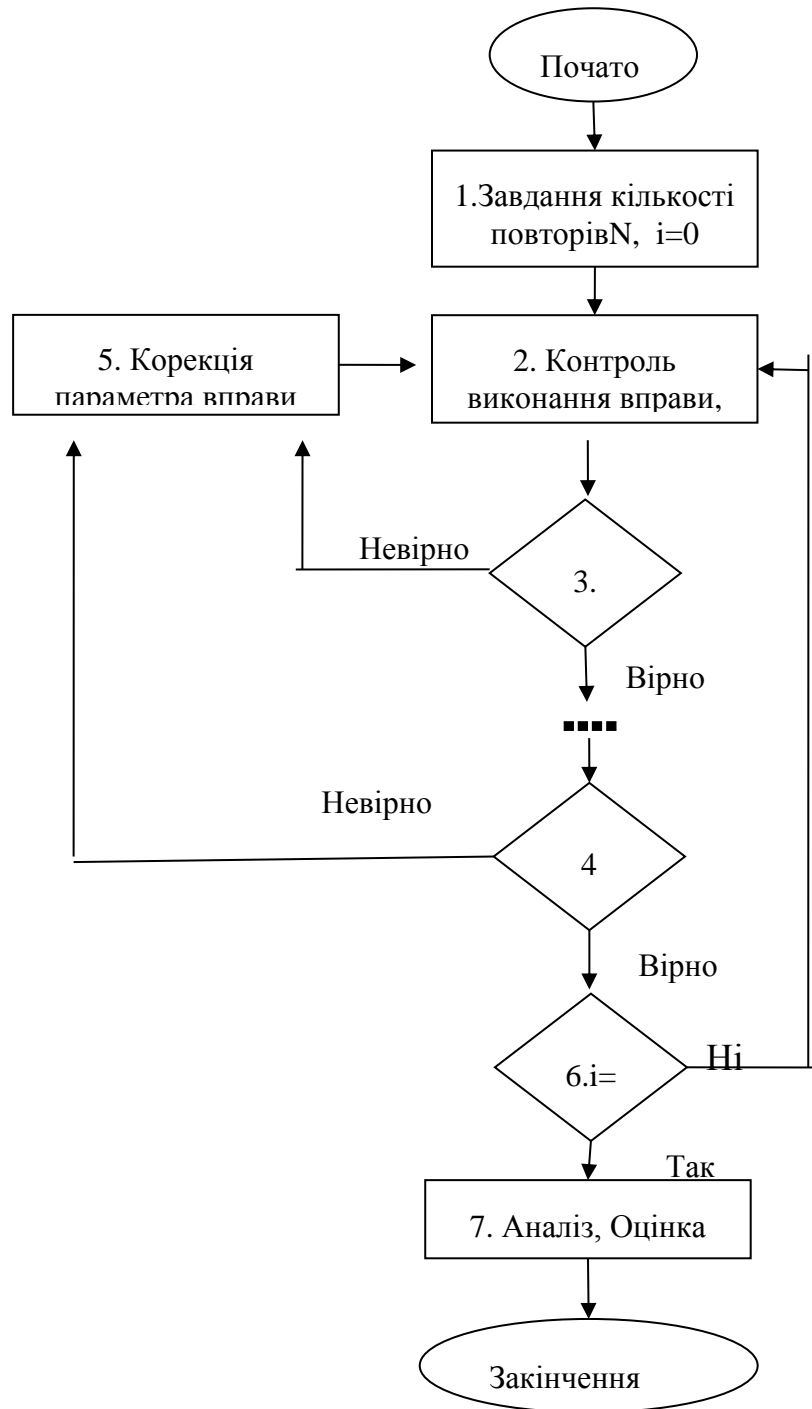
37 - Зверніться до лікаря для діагностики.



**Додаток 3**  
**Алгоритм вибору керуючих впливів**

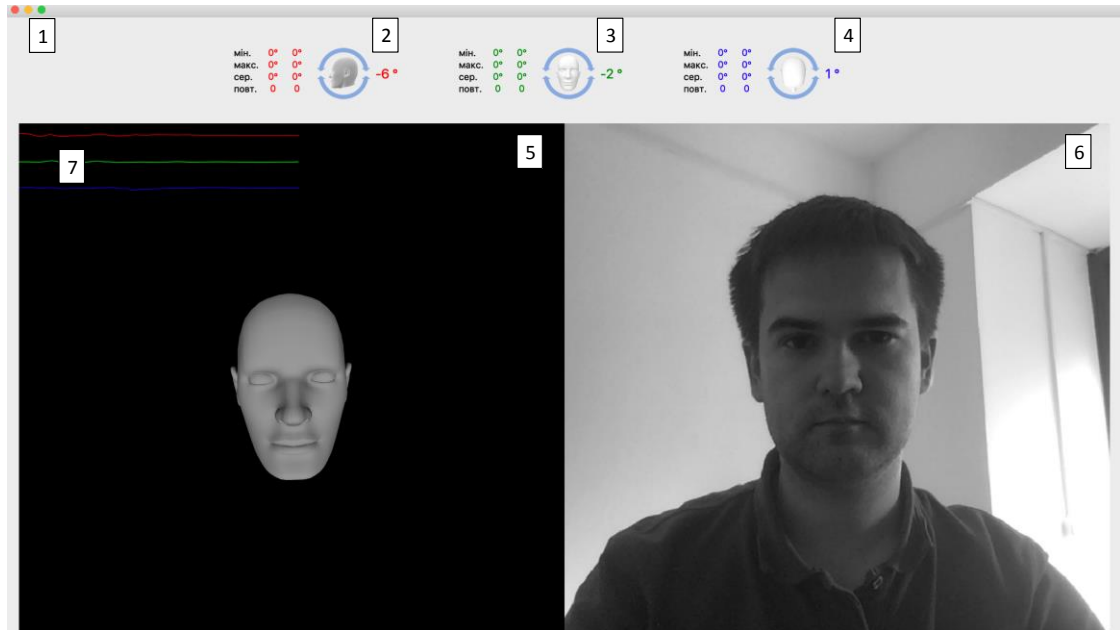


**Додаток 4**  
**Алгоритм контролю та оцінки за виконанням руху.**



## Додаток 5

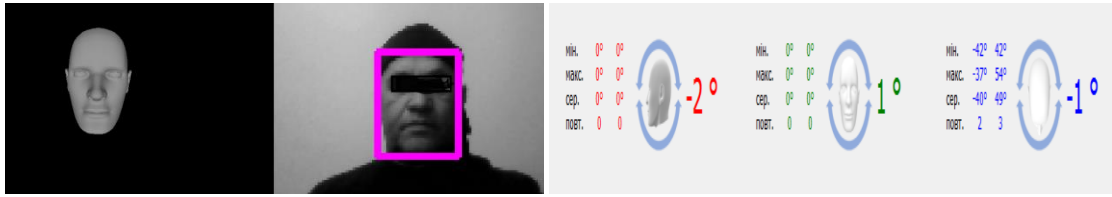
### Елементи графічного інтерфейсу системи та реєстрації поворотів голови до та після лікування



Елементи графічного інтерфейсу системи

1. Панель відстеження динаміки поворотів;
2. Статистика динаміки нахилу голови вперед-назад;
3. Статистика динаміки нахилу голови в боки (праворуч та ліворуч);
4. Статистика динаміки поворотів голови вправо та вліво;
5. Вікно візуального моделювання голови людини «Аватар»;
6. Вікно виводу графічної інформації з камери (відео-поток);
7. Графіки динаміки поворотів.

## Додаток 5 (продовження) Поворот голови вліво до та після лікування



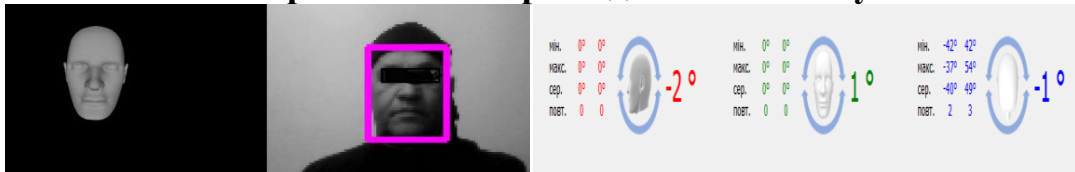
До лікування. Кут повороту голови – 56°



Після лікування. Кут повороту голови – 73°



## Поворот голови вправо до та після лікування



До лікування. Кут повороту голови – 48°



Після лікування. Кут повороту голови – 75°

