

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій

Кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і
технологій

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка методу та засобу визначення складу тіла людини»

ХАІ.502.564М2.23О.163.10766650 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи №564М/2
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність 163 Біомедична інженерія
Освітня програма «Біомедична
інформатика та радіоелектроніка»

(код і найменування напрямку підготовки)

Бабіюк В. Ю.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: Висоцька О. В.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Косуліна Н. Г.

(прізвище й ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій
(повне найменування)
Кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій
(повне найменування)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність 163 Біомедична інженерія
(код та найменування)
Освітня програма Біомедична інформатика та радіоелектроніка
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри

О. В. Висоцька
(підпис) (ініціали та прізвище)
« 7 » 11 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Бабінок Володимир Юрійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка методу та засобу визначення складу тіла людини

керівник кваліфікаційної роботи Висоцька О. В. д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 1978 -уч від «07» листопада 2023 року.

2. Термін подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 16.02.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані анамнезу, результати антропометричного, каліперометричного обстеження, результати проведення біоімпедансної спектрометрії, шкали оцінювання Шелдона, Хіта і Картера, методологія об'єктно-орієнтованого програмування.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)

4.1 Аналітичний огляд методів та засобів визначення складу тіла людини.

4.2 Розробка методу визначення складу тіла людини.

4.3 Експериментальна перевірка запропонованого методу та розробка структурної схеми біотехнічної системи визначення складу тіла людини.

4.4 Розробка програмного забезпечення біотехнічної системи визначення складу тіла людини.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
- 5.1 Взаємозв'язок між моделями та методами оцінки складу тіла людини (плакат, арк. А4).
- 5.2 Структурна схема метода визначення складу тіла людини (плакат, арк. А4).
- 5.3 Біотехнічна система визначення складу тіла людини. Схема структурна. (плакат, арк. А4).
- 5.4 Визначення складу тіла людини. Схема алгоритму (плакат, арк. А4).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Всі розділи	Висоцька О. В., зав.каф. 502	07.11.23	16.02.24

Нормоконтроль _____ В. М. Олійник «19» _____ 02 2024 р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання «07» листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання.	07.11.23	
2	Аналітичний огляд методів та засобів визначення складу тіла людини.	08.11.23-08.12.23	
3	Розробка метода визначення складу тіла людини	09.12.23 – 16.12.23	
4	Експериментальна перевірка запропонованого метода та розробка структурної схеми біотехнічної системи визначення складу тіла людини	17.12.23 – 10.01.24	
5	Розробка програмного засобу визначення складу тіла людини	11.01.24 – 01.02.24	
6	Оформлення пояснювальної записки	02.02.24 – 16.02.24	
7	Оформлення графічних матеріалів	17.02.24 – 19.02.24	
8	Передзахист та усунення недоліків.	20.02.24 – 22.02.24	
9	Захист роботи.	23.02.2024	

Здобувач вищої освіти

_____ В. Ю. Бабіюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ О. В. Висоцька
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 28 рис., 12 табл., 6 дод., 49 джер.

АНАЛІЗ БІОІМПЕДАНСНИЙ, АНТРОПОМЕТРІЯ, КАЛІПЕРОМЕТРІЯ,
ОБМІН РЕЧОВИН, СКЛАД ТІЛА, СОМАТОТИП.

Об'єкт дослідження – визначення складу тіла людини.

Предмет дослідження – методи та засоби визначення складу тіла людини.

Мета роботи – розробка методу та засобу визначення складу тіла людини.

Методи дослідження – інженерно-розрахункові методи, методи математичної статистики, б'єктно-орієнтована методологія розробки програмного забезпечення.

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було проведено аналіз методів та засобів визначення складу тіла людини, показано місце біоімпедансного аналізу в структурі сучасних підходів до визначення компонентного складу тіла. Розроблено метод визначення складу тіла людини, який базується на методах каліперометрії, антропометрії та біоімпедансного аналізу, якій відрізняється врахуванням індексного значення соматотипу людини за Хіттом і Картером і дозволяє індивідуалізовано підійти до розрахунку основних показників складу тіла. Була проведена експериментальна перевірка розробленого метода на двох групах обстежуваних з умовно нормальною та надлишковою масою тіла. Для реалізації запропонованого метода була запропонована біотехнічна система визначення складу тіла людини, програмна складова якої була реалізована із застосуванням мови програмування C#.

Розроблений метод та засіб можуть бути використані у медичних та дослідницьких установах державної та приватної форм власності для морфофункціонального дослідження організму людини.

ABSTRACT

Explanatory note: 92 p., 28 pict., 12 tables, 6 attach., 49 ref.

ANTHROPOMETRY, BIO-IMPEDANCE ANALYSIS, BODY COMPOSITION, CALIPHEROMETRY, METABOLISM, SOMATOTYPE.

The object of research is determining the composition of the human body.

The subject of research is the methods and means of determining the composition of the human body.

The aim of research is development of the method and means of determining the composition of the human body.

The research methods are engineering calculation methods, methods of mathematical statistics, object-oriented methodology of software development.

In the course of the master's qualification work, an analysis of methods and means of determining the composition of the human body was conducted, the place of bioimpedance analysis in the structure of modern approaches to determining the component composition of the body was shown. A method of determining the composition of the human body has been developed, which is based on the methods of caliperometry, anthropometry and bioimpedance analysis, which is distinguished by taking into account the index value of the human somatotype according to Hitt and Carter and allows an individualized approach to the calculation of the main indicators of body composition. An experimental test of the developed method was carried out on two groups of examinees with conditionally normal and excess body weight. To implement the proposed method, a biotechnical system for determining the composition of the human body was proposed, the software component of which was implemented using the C# programming language. The developed method and means can be used in medical and research institutions of state and private ownership for morpho-functional research of the human body.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ	13
1.1 Роль соматотипу людини у визначенні компонентного складу його тіла ...	13
1.2 Огляд моделей та методів визначенні компонентного складу тіла людини	22
1.3 Огляд засобів визначення компонентного складу тіла людини.....	34
2 РОЗРОБКА МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ	44
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДА ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ.....	55
3.1 Експериментальна перевірка методу визначення складу тіла людини	55
3.2 Розробка структурної схеми біотехнічної системи визначення складу тіла людини.....	62
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ.....	69
4.1. Загальні методичні положення створення програмного забезпечення визначення складу тіла людини.....	69
4.2 Розробка архітектури оболонки програмного застосунку визначення складу тіла людини.....	73
4.3 Вибір мови програмування для реалізації локального рівня біотехнічної системи визначення складу тіла людини.....	77
4.4 Програмна реалізація локального рівня забезпечення біотехнічної системи визначення складу тіла людини.....	79
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	87

ДОДАТОК А. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МОДЕЛЯМИ ТА МЕТОДАМИ ОЦІНКИ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ.....	93
ДОДАТОК Б. СТРУКТУРНА СХЕМА МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ.....	94
ДОДАТОК В. ІНДИВІДУАЛЬНА КАРТА АНТРОПОМЕТРИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....	95
ДОДАТОК Г. БІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ. СХЕМА СТРУКТУРНА.....	97
ДОДАТОК Д. ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ. СХЕМА АЛГОРИТМУ.....	98
ДОДАТОК Е. ФРАГМЕНТ ЛІСТИНГУ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ

АПК	– апаратно-програмний комплекс
БІАСТ	– біоімпедансний аналіз
БМТ	– безжирова маса тіла
БО	– біологічний об'єкт
БФМТ	– безжирова фракція м'яких тканин
ВООЗ	– Всесвітня організація охорони здоров'я
ГД	– гідростатична денситометрія
ДТ	– довжина тіла
ЖМТ	– жирова маса тіла
ЗВО	– загальна вода організму
ЗКР	– загальна кількість рідини
ІдМТ	– ідеальна маса тіла;
ІМТ	– індекс маси тіла;
ІОТ	– індекс ожиріння тіла
КМТ	– клітинна маса тіла
КПР	– кількість позаклітинної рідини
КС	– коефіцієнт статури
КТ	– комп'ютерна томографія
МНЖ	– маса несуттєвого жиру
МРТ	– магнітно-резонансна томографія
МТ	– маса тіла
ОГ	– обхват грудей
ОЗ	– обхват зап'ястя
ОЗВ	– об'єм загальної води
ОС	– окружність стегон
ПЕТ	–позитронно емісійна томографія

ПК	– персональний комп'ютер
ПП	– повітряна плетизмографія
СМТ	– скелетно-м'язова маса тіла
ТМТ	– тонка маса тіл
ХМТ	– худа маса тіла
DEXA	– dual X-ray absorptiometry, двоенергетична рентгенівська абсорбціометрія
R	– значення активного опору
X _c	– значення реактивного опору
WHR	– waist-to-hip ratio, індекс талія/стегна

ВСТУП

Актуальність роботи. Оптимальний склад людського тіла є одним із ключових факторів підтримки здоров'я та гарного самопочуття протягом довгих років життя. Оцінка складу тіла дає загальне уявлення не тільки про харчовий статус людини, але і про її функціональні можливості, що може бути корисним для дієтологів, лікарів-клініцистів [1].

Потреба в визначенні складу тіла людини також виникає під час діагностики цілого ряду захворювань, які обумовлені порушенням водно-сольового балансу, обмінних процесів. Наприклад, ожиріння є значущим фактором, що призводить до інсулінорезистентності, яка в свою чергу підвищує ризик захворювання на цукровий діабет другого типу. Крім того кількісна оцінка об'ємів рідинних фракцій тіла людини дозволяє контролювати гомеостаз [2].

У зв'язку з цим проблема підвищення точності оцінки компонентів тіла є актуальною, оскільки її вирішення дозволить точніше оцінювати ефективність лікувального процесу. Серед існуючих неінвазивних методів оцінки складу тіла людини метод біоімпедансного аналізу складу тіла людини виділяється своєю простотою проведення вимірювань щодо низької вартістю обладнання за досить високої точності оцінки показників складу тіла людини. Цей метод має найбільшу кількість вимірюваних показників, включаючи як рідинні параметри, так і параметри складу тіла людини.

Проте, біоімпедансні методи також не позбавлені недоліків. У клінічній практиці існує потреба в оцінці складу кінцівок, тулуба та їх підсегментів у пацієнтів з яскраво вираженими відхиленнями у будові кінцівок при серйозних набряках, надлишковій м'язовій або жировій масі. Ці методи не дозволяють проводити оцінку складу тіла людини з необхідною точністю у таких груп, що обстежуються через недосконалість використовуваної моделі тіла людини та

статистичної бази методу – вони не враховують індивідуальні особливості будови тіла людини. При обстеженні певних груп пацієнтів сучасні методи характеризуються низькою точністю у визначенні балансу великих обсягів м'язової та жирової мас.

Тому тема роботи, яка спрямована на вдосконалення методів та засобів визначення композиційного складу тіла людини є актуальним науковим та практичним завданням.

Робота виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» на кафедрі радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є розробка метода та засобу визначення складу тіла людини.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішення наступних завдань:

- провести аналітичний огляд існуючих методів та засобів визначення складу тіла людини;
- розробити метод визначення складу тіла людини та провести його експериментальну перевірку;
- розробити структурну схему біотехнічної системи визначення складу тіла людини;
- провести програмну реалізацію запропонованого технічного рішення.

Об'єктом дослідження є процес визначення складу тіла людини.

Предметом дослідження є методи та засоби визначення складу тіла людини.

Методи дослідження – інженерно-розрахункові методи, методи математичної статистики, б'єктно-орієнтована методологія розробки програмного забезпечення.

Наукова новизна. Розроблено метод визначення складу тіла людини, що базується на результатах каліперометрії, антропометрії та біоімпедансного аналізу, якій враховує індексне значення соматотипу людини за Хіттом і Картером і дозволяє підвищити точність розрахунку основних показників складу тіла людини та сприяє підвищенню якості лікувально-профілактичних заходів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що була запропонована структурна схема біотехнічної системи визначення складу тіла людини, програмна складова якої дозволяє автоматизувати процес визначення інтегральних і локальних параметрів складу тіла й основного обміну та покращити результати діагностики стану організму людини.

Публікації. За матеріалами магістерської роботи подано матеріали тез доповіді до участі в V Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині».

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ

1.1 Роль соматотипу людини у визначенні компонентного складу його тіла

Однією з найважливіших проблем сучасної медицини є індивідуалізація програм діагностики, лікування, профілактики захворювань та реабілітації хворих. Успішність її вирішення багато в чому визначається тим, наскільки повно, системно буде охарактеризована соматична складова індивідуальності людини з урахуванням усього комплексу біологічних і психічних чинників, які здійснюють вплив на її здоров'я.

Дослідження складу маси тіла людини *in vivo* набувають останніми роками дедалі більшого значення. Результати численних робіт свідчать, що склад тіла має суттєвий взаємозв'язок із показниками фізичної працездатності людини, з її адаптацією до умов зовнішнього середовища, а також з професійною та спортивною діяльністю. Вивчення складу тіла відіграє ключову роль у діагностиці ожиріння, остеопорозу, значуще при деяких інших захворюваннях, і дозволяє з точністю прогнозувати ризик їх розвитку [1].

Сьогодні область вивчення складу тіла людини охоплює широкий спектр фундаментальних та прикладних проблем біології та медицини. Неповний їх перелік включає оцінку фізичного розвитку на індивідуальному та популяційному рівні, діагностику деяких захворювань та оцінку ефективності їх лікування, дослідження закономірностей вікових змін складу тіла, вивчення процесів адаптації організму до зовнішнього середовища та професійний добір.

Визначення складу тіла має важливе значення у спорті та використовується тренерами та спортивними лікарями для оптимізації тренувального режиму у процесі підготовки до змагань [2].

Різні співвідношення показників складу тіла безпосередньо пов'язані зі станом фізичної працездатності спортсменів, тісно корелюють з біохімічними та функціональними показниками організму, що широко використовуються у спорті.

Склад тіла визначають у дієтології, анестезіології, при моніторингу балансу рідини в реаніматології та інтенсивній терапії, при лікуванні пацієнтів з анорексією, ожирінням, набряками [3]. Велике значення має вивчення складу тіла для профілактики, діагностики та оцінки ефективності лікування остеопорозу [4].

Залежно від галузі науки (фізіологія праці та спорту, спортивна медицина, ендокринологія, педіатрія, геронтологія, онкологія та ін.) змінюється перелік показників складу тіла, які необхідно вивчати.

Конституція людини – це комплекс морфо-функціональних особливостей її організму, які визначають темпи онтогенезу й реакцію організму на зовнішні впливи, у тому числі й на фізичні навантаження. Конституція залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів (умов праці, побуту, перенесених захворювань, занять фізкультурою і спортом, спадковості).

Існує декілька класифікацій конституції або конституційні схеми. Схема Чорноручького, який в своїй класифікації основну увагу приділив морфологічним ознакам при визначенні типів конституцій використовував індекс Піньє:

$$I = L - (P + T), \quad (1.1)$$

де L – ріст; P – вага; T - обхват грудей.

В залежності від цього він виділив 3 типи конституції:

– астенік – переважний ріст в довжину, стрункість і легкість фігури, слабкий загальний розвиток, довгі кінцівки, поздовжні розміри більше поперечних, більш

довгі легені, мале серце, понижений тиск, підвищений обмін речовин, підвищена функція статевих органів, щитовидної залози, понижена функція наднирників;

– гіперстенік – переважний ріст в ширину, міцна кремезна фігура, короткі кінцівки, високе стояння діафрагми, горизонтальне розташування серця, підвищений кров'яний тиск, гіперсекреція наднирників;

– нормостенік – проміжний тип між 1 та 2.

У спорті для опису конституцій широкого застосування набула схема Бунака [5].

Він виділив 3 основні типи конституції і 4 проміжні підтипи:

1) грудний тип – худорлява статура, грудна клітка плоскої форми, вузька спина, слаборозвинена мускулатура, незначне жировідкладення;

2) мускульний тип – нормальна статура, циліндрична форма грудної клітки, прямий живіт, середня ступінь жировідкладення, добре розвинута мускулатура;

3) черевний тип – велика ступінь жировідкладення, середній розвиток мускулатури, конічна грудна клітка, виступаючий живіт сутулуватий.

Крім цих 3 типів є ще 4 підтипи:

- грудно-мускульний;

- мускульно-грудний;

- мускульно-черевний;

- черевно-мускульний.

Кожному виду спорту відповідає певний тип, який більше ніж інші пристосований для досягнення високих результатів у конкретному виді спорту.

Схему Галанта використовують для опису конституційних типів жінок (за основу взято морфологічні та окремі психофізіологічні відмінності) [5].

Шелдон в основу своєї класифікації поклав ступінь розвитку трьох зародкових шарів (екто-, ендо-, та мезодерми), яких розвиваються різні системи органів людини.

Відповідно до цих зародкових листків він виділив три компоненти конституції:

- ендоморфія – добре розвинена травна система, великі нутрощі, значне жировідкладення, заокруглені форми тіла;

- мезоморфія – добре розвинуті скелет і скелетні м'язи, які розвиваються із мезодерми (середнього зародкового листка);

- екторморфія – слабе жировідкладення, тіло витягнуте у довжину, тонкі руки і ноги, вузькі плечі і таз.

Ступінь розвитку кожного компоненту С. Шелдон оцінював за семибальною шкалою: 1 бал – дуже слабкий розвиток; 2 бали – слабкий; 3 бали – понижений; 4 бали – середній (нормальний) розвиток; 5 балів – підвищений розвиток; 6 балів – високий; 7 балів – дуже високий розвиток [5, 6].

Соматотип описується трьома цифрами, з яких перша цифра показує ступінь розвитку ендоморфії, друга – ступінь розвитку мезоморфії, третя – екторморфний компонент [7].

Чистий ендоморф (Endo – важкий, Morph – форма) (7-1-1) характеризується кулястими формами, наскільки це взагалі можливо для людини. У такого індивідуума кругла голова, великий живіт, слабкі, мляві руки і ноги, з великою кількістю жиру на плечах і стегнах, але тонкі зап'ястя і щиколотки (рис.1.1). Подібного людини з великою кількістю підшкірного жиру можна було б назвати просто товстим, якби всі профільні розміри його тіла (включаючи грудну клітку і таз) не превалювали над поперечними. При тривалому голодуванні він стає, по вислову Шелдона, просто зголоднілим ендоморфом, але не наближається за балами ні до екторморфу, ні до мезоморфу. Цією конституції значною мірою супроводжує надмірне жировідкладення.

Чистий мезоморф (Meso – середній, Morph – форма) (1-7-1) – це класичний Геркулес з переважанням кісток і м'язів. У нього масивна кубічна голова, широкі

плечі і грудна клітка, мускулісті руки та ноги. Кількість підшкірного жиру мінімально, профільні розміри невеликі.

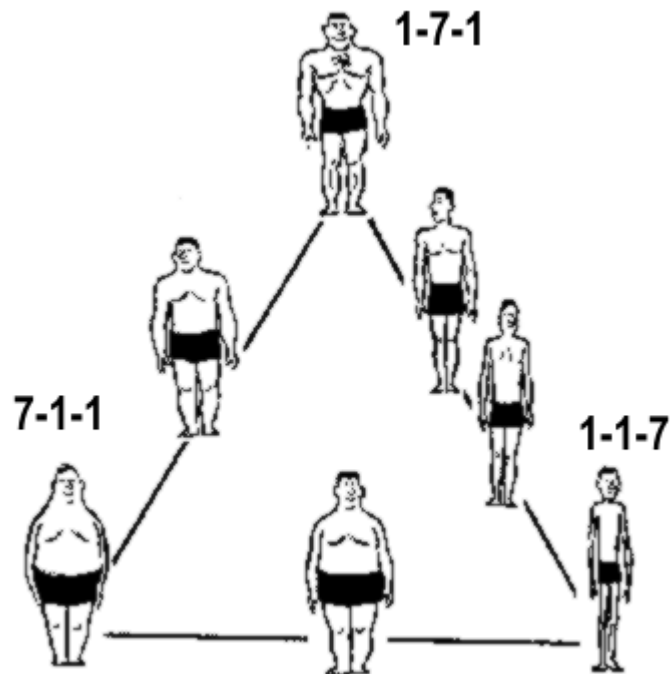


Рис.1.1. Система соматотипування Шелдона: чистий ендоморф (7-1-1), чистий мезоморф (1-7-1), чистий екторморф (1-1-7) [7]

Чистий екторморф (Ecto – легкий, Morph – форма) (1-1-7) – це довготелесий чоловік. У нього худе, видовжене обличчя, зрушене назад підборіддя, високе чоло, вузька грудна клітка і живіт, вузьке серце, тонкі й довгі руки і ноги. Підшкірний жировий шар майже відсутній, мускулатура не розвинена. Екторморфу абсолютно не загрожує ожиріння.

Більшість людей не відноситься до крайніх варіантів статури (ендоморф, мезоморф, екторморф), в їх будові статури в тій чи іншій мірі виражені всі три компоненти, і найбільш звичайними соматотипами будуть 3-4-4, 4-3-3, 3-5-2. Крім того, окремі частини тіла однієї людини можуть виразно ставитися до

різних соматотипів – така невідповідність носить назву дисплазії, однак її облік залишився слабким місцем системи Шелдона.

Найпоширенішою й універсальною в наш час вважається конституційна схема Хіта і Картера – вона є модифікацією схеми Шелдона, але шкала оцінювання збільшена до нескінченності. Розрахунок компонентів соматотипу за правильно проведеними вимірами дозволяє отримувати цілком об'єктивну і адекватно мінливу оцінку статури у вигляді однієї-єдиної наочної точки на площині (рис. 1.2) [7, 8].

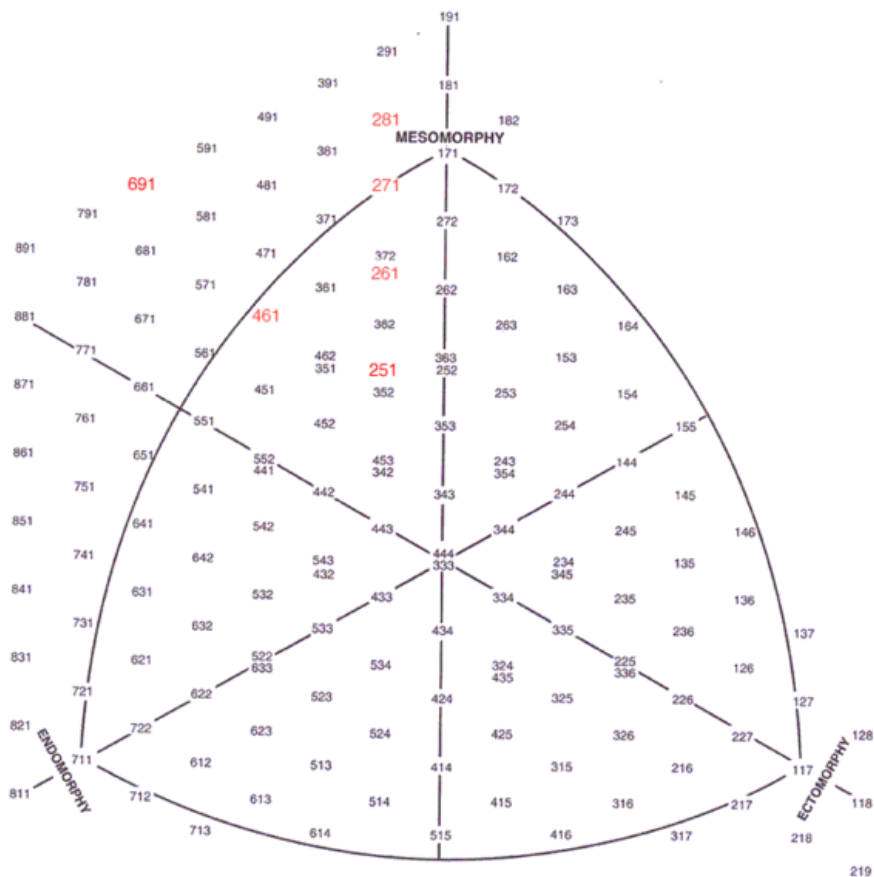


Рис. 1.2. Соматичний зріз Хіт – Картера

Графічно соматичний зріз виражається точкою на площині з трьома координатними осями, розташованими під кутом 120° один до одного. Осі – Ендоморфія («жир» – вліво-вниз), мезоморфія («м'язи» – вгору) і екторморфія

(«кістки» – вправо-вниз). Наприклад, більш підтягнуті, стрункі люди «розташовуються» на площині соматичного зрізу в ділянці нуля дещо правіше від початку координат, модельки, – ще правіше; культуристи розташовуються вздовж осі мезоморфа у верхній частині площині зі значенням Y більше десяти, а надмірна вага відсуває точку вліво від нуля. При зміні м'язової маси і кількості жиру в організмі соматичний зріз буде змінюватися, і, порівняно з точками попередніх замірів ви зможете спостерігати зсув поточної точки, що показує напрямок змін, що відбуваються у вашому тілі. Перевагою схеми Хіт-Картера є те, що вона рекомендована авторами для людей обох статей, всіх національностей і рас у віці від 2 до 70 років.

Багатьма сучасниками визначається, що знання про конституцію конкретної особи з визначенням спадково-генеалогічного фону, її онтогенетичної динаміки розвитку, яка містить в собі темпи росту та дозрівання, відносної синхронізації формування різних соматичних ознак вкрай необхідні для вирішення медичних проблем подовження життя, збереження здоров'я, попередження та лікування хвороб. Це дозволяє стратегічно значно розширити фокус терапевтичного підходу, який дає можливість побачити пацієнта, а не хворобу, а також спланувати рівень превентивних заходів і необхідність лікувального втручання, яке дотримується запитів біомедичної та клінічної антропології.

Так, в роботах кардіологів в галузі клінічної антропології визначено особливості клінічного перебігу інфаркту міокарда у осіб різних соматотипів і розвитку гіпертрофії лівого шлуночка в ранньому та пізньому постінфарктному періодах. Встановлено, що серед жінок, хворих на інфаркт міокарда, найчастіше зустрічаються представниці мегалосомного соматотипу, а серед чоловіків – черевного, м'язового та невизначеного соматотипів. Найвищу частоту інфаркту встановлено для чоловіків черевного соматотипу та жінок мезосомного соматотипу [9].

Серед пацієнтів, у яких поєднується артеріальна гіпертензія з гіперурикемією достовірно частіше зустрічаються особи з м'язовим соматотипом. У осіб невизначеного соматотипу відмічались найвищі значення маси міокарда та його концентричний варіант гіпертрофії.

У дослідженнях Загромової Т.А. [10] у пацієнтів із виразкою дванадцятипалої кишки встановлені негативні тенденції в її розвитку при астенічному соматотипі, а саме – ранній вік початку захворювання, досить часті рецидиви та виражений больовий синдром при загостреннях хвороби.

Аналогічна тенденція відмічена в роботі Руских А.М. [11], де досліджували конституціональні особливості цирозу. Підтверджено, що чоловіки андроморфного соматотипу незалежно від віку мають найменші значення показників збільшення печінки, що зумовлює високий ризик розвитку незворотних змін в структурі печінки.

Дослідження, що проведені Деревцовою С.Н. [6] показали, що ризик розвитку інсульту та результати реабілітації в післяінсультному періоді пов'язані з конституційним типом пацієнта. Серед чоловіків, які перенесли інсульт, переважають нормостеніки. Найбільш швидко підлягають реабілітації при застосуванні стандартних методик чоловіки з нормостенічним соматотипом. Чоловіки ж астеніки досягають поліпшення значно пізніше.

Однак, найпоширеніші застосування конституційних характеристик є в дослідженнях розвитку ожиріння та цукрового діабету. Так, В. В. Жмурик [12] у досліджуваних з цукровим діабетом I першого зрілого віку встановили притаманні для даного захворювання «діатезні» конституціональні типи, для яких характерне порушення пропорційності як антропометричних, так і соматотипологічних параметрів тіла. Дослідниками розроблені дискримінантні моделі виникнення цукрового діабету I типу у чоловіків і жінок в залежності від особливостей тілобудови.

У всіх цих дослідженнях процедура визначення соматотипу базувалась на послідовній оцінці одного з трьох первинних компонентів тілобудови. Ендоморфного компоненту (F), який визначає ступінь розвитку жирової тканини, мезоморфного компоненту (M), що відображає відносний розвиток м'язів та кісток тіла та екторморфний компонент (L), який дає характеристику відносної витягнутості тіла досліджуваного і є поєднанням між ендоморфною і мезоморфною ознаками тілобудови [9].

Ендоморфний компонент (F) визначається згідно наведеною нижче формули:

$$F = -0,7182 + 0,1451 * X - 0,00068 * X^2 + 0,0000014 * X^3, \quad (1.2)$$

де X – сума шкірножирових складок (ШЖС) на задній поверхні плеча, під лопаткою і на боці.

Наступна формула використовується для визначення мезоморфного компоненту (M):

$$M = (0,858 * КП + 0,601 * КС + 0,188 * ОП + 0,161 * ОГ) - L * 0,131 + 4,50, \quad (1.3)$$

де КП – ширина дистального епіфіза (ШДЕ) плеча (см);

КС – ШДЕ стегна (см);

ОП – обхват плеча в напруженому стані (см);

ОГ – обхват гомілки (см);

L – довжина тіла (см).

Для визначення екторморфного компонента (L) використовували наведену нижче формулу:

$$L = РВК \times 0,732 - 28,58, \quad (1.4)$$

де РВК – зросто-ваговий коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$\text{РВК} = \frac{L}{\sqrt[3]{m}} \quad (1.5)$$

де L – довжина тіла (см),

m – маса тіла (кг).

У ситуації, коли РВК знаходиться в межах 40,75-38,25, розрахунок проводиться за формулою:

$$L = \text{РВК} \times 0,463 - 17,63, \quad (1.6)$$

коли РВК менше або дорівнює 38,25, екоморфія складає 1 бал.

Таким чином, наведені дані наукової літератури свідчать про те, що до теперішнього часу накопичений значний теоретичний та клінічний матеріал, що підтверджує важливу роль соматотипа у виникненні та перебігу патологічних процесів в організмі людини.

1.2 Огляд моделей та методів визначені компонентного складу тіла людини

Важлива передумова у розвиток методів дослідження складу тіла виникла у першій половині XIX ст. у зв'язку з початком застосування математичної статистики у демографічних та біологічних дослідженнях. Одним із основоположників демографічної статистики і біометрії є Адольф Жак Ламбер Кетле - бельгійський математик та астроном, учень Лапласа та Фур'є, засновник та перший директор Бельгійської королівської обсерваторії. Для загальної характеристики людських популяцій А. Кетле у 1835 році ввів поняття “середньої людини” (*l'homme moyen*), а для оцінки індивідуального фізичного розвитку вперше в історії антропометрії він запропонував так звані ваго-ростові індекси. З

того часу зусиллями різних дослідників було створено кілька десятків таких індексів, але найбільшою популярністю серед них користується індекс Кетле, що дорівнює відношенню маси тіла, що вимірюється в кілограмах, до квадрата довжини тіла, що вимірюється в метрах. Індекс Кетле застосовується Всесвітньою організацією охорони здоров'я для характеристики харчового статусу, попередньої діагностики ожиріння та оцінки ризику серцево-судинних та інших захворювань. Проведені нещодавно масштабні клініко-епідеміологічні та демографічні дослідження виявили суттєвий взаємозв'язок індексу Кетле із загальною захворюваністю та смертністю, а також із захворюваністю та смертністю від різних хвороб [13].

При обстеженні хворих на ожиріння індекс Кетле рекомендується вважати п'ятим основним показником життєдіяльності організму поряд з артеріальним тиском, частотою серцевих скорочень, частотою дихання та температурою тіла [2]. Більш надійною порівняно з індексом Кетле характеристикою товщини індивідів є процентний вміст жиру в організмі, оскільки високі значення індексу Кетле можуть бути пов'язані зі збільшенням м'язової маси тіла.

Визначення складу тіла має важливе значення у спорті та використовується тренерами та спортивними лікарями для оптимізації тренувального режиму у процесі підготовки до змагань.

Багаторічні дослідження найсильніших спортсменів дозволили встановити оптимальні значення жирової та м'язової маси тіла у спортсменів на різних етапах річного циклу підготовки (підготовчий, змагальний, перехідний етапи).

Різні співвідношення показників складу тіла безпосередньо пов'язані зі станом фізичної працездатності спортсменів, тісно корелюють з біохімічними та функціональними показниками організму, що широко використовуються у спорті. Не випадково вже понад 30 років в Україні та за кордоном показники складу тіла застосовуються для оцінки поточного функціонального стану спортсменів. У польових умовах перевагу мають антропометричні методи та

біоімпедансний аналіз [14]. Як свідчать вітчизняні та західні дослідження, єдиних стандартів складу тіла у спортсменів не існує, вони варіюють від виду спорту, конкретної спеціалізації та рівня підготовки спортсменів. Однак відомо, що зниження частки жирової маси до 5-6%, а скелетно-м'язової маси в змагальному періоді – до 46%, небажано і частіше свідчить про перевтому атлетів.

Згідно з європейськими рекомендаціями, індекс маси тіла та коло талії є основними антропометричними показниками, що застосовуються в діагностиці ожиріння. Однак такий розрахунок показує лише усереднені дані. Адже навіть якщо індекс маси тіла (ІМТ) помітно перевищує верхні межі норми, це не завжди пов'язано з ожирінням і може спостерігатися в осіб із надзвичайно розвиненою м'язовою масою [15].

Крім індексу маси тіла з антропометричних показників використовуються вимірювання кіл тіла і шкірних складок. Коло талії використовується у дітей та дорослих як величина, що характеризує кількість вісцеральної жирової тканини. Даний параметр вимірюється за допомогою нерозтяжної стрічки в положенні стоячи під час видиху в середній точці між нижньою частиною грудної клітки та гребенем клубової кістки. Порогові значення кардіометаболічного ризику, що запропоновані особам європейських етнічних груп, становлять ≥ 102 см для чоловіків та ≥ 88 см для жінок [16]. Також часто використовується параметр співвідношення колів талії та стегон. Дане співвідношення дозволяє оцінити розподіл жирової тканини у верхній та нижній частинах тіла і таким чином диференціювати гіноїдне та андроїдне ожиріння. Несприятливий прогноз щодо серцево-судинного ризику визначається при отриманні значень $\geq 1,0$ для чоловіків та $\geq 0,85$ для жінок [17]. Дослідження товщини шкірних складок дозволяє визначити щільність тіла і на цій підставі зробити припущення про процентний вміст підшкірної жирової тканини. Для більшої точності при даному обстеженні рекомендується використовувати спеціалізовані штангенциркулі та проводити вимірювання не менше ніж 2 рази. Товщину шкірних складок

найчастіше досліджують на таких ділянках, як біцепс, трицепс, підлопаткова та надклубова області. Однак іноді виміру також піддаються шкірні складки над червону порожниною, передньою частиною стегна та гомілки. Отримані результати обробляються за допомогою рівнянь Дарніна - Вомерслі, Сірі або Дебори Керр. При використанні останнього рівняння відповідно до протоколу ISAK (англ. International Society for the Advancement of kinanthropometry) необхідні значення 10 кіл тіла (см), 6 діаметрів (мм), 9 довжин і сегментів (см) і 8 шкірних складок (мм) [18].

Зручним засобом організації та уявлення знань про склад тіла людини є моделі складу тіла. Під моделлю складу тіла розуміється сукупність кількісних даних і припущень, і навіть відповідна математична формула, дозволяють визначити зміст компонент складу тіла, які у сумі все тіло. Традиційно використовуються дво-, три чотирикомпонентні моделі, а також п'ятирівнева багатоконпонентна та інші моделі складу тіла [19].

У класичній двокомпонентній моделі маса тіла людини (МТ) розглядається як сума двох складових: жирової маси тіла (ЖМТ) та безжирової маси тіла (БМТ):

$$MT = ЖМТ + БМТ. \quad (1.7)$$

Під жировою масою тіла розуміється маса всіх ліпідів у організм. Жирова маса тіла є найбільш лабільним компонентом складу тіла, її зміст може змінюватися в широких межах. Нормальне співвідношення для людини є таке, у якому ЖМТ становить близько 15% маси тіла. У хворих на ожиріння цей показник збільшений більш ніж удвічі.

Компонентами БМТ є загальна вода організму, маса м'язів, маса скелета та інші складові.

Існуючі методи оцінки складу тіла у двокомпонентній моделі засновані на вимірі однієї з двох величин: щільності тіла або вмісту води в організмі.

У першому випадку передбачаються постійними та відомими щільності безжирової та жирової маси тіла ($\rho_{\text{БМТ}}$ та $\rho_{\text{ЖМТ}}$, відповідно). Нехай $\rho_{\text{Т}}$ – щільність тіла, $V = \text{МТ}/\rho_{\text{Т}}$ – об'єм тіла, $V_{\text{ЖМТ}} = \text{ЖМТ}/\rho_{\text{ЖМТ}}$ – об'єм жирової маси тіла, а $V_{\text{БМТ}} = \text{БМТ}/\rho_{\text{БМТ}}$ – об'єм безжирової маси тіла [18, 19].

Тоді вираз для процентного вмісту жиру в організмі ($\% \text{ЖМТ} = \text{ЖМТ}/\text{МТ} \times 100$) визначатиметься як:

$$\% \text{ЖМТ} = \frac{\rho_{\text{ЖМТ}}}{\rho_{\text{БМТ}} - \rho_{\text{ЖМТ}}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{БМТ}}}{\rho_{\text{Т}}} - 1 \right) \times 100. \quad (1.8)$$

При підстановці замість $\rho_{\text{ЖМТ}}$ та $\rho_{\text{БМТ}}$ конкретних числових значень виходять різні формули $\% \text{ЖМТ}$.

Для вивчення складу тіла у дорослих людей найбільше широко застосовуються формула В. Сирі:

$$\% \text{ЖМТ} = (495/\rho_{\text{Т}}) - 450. \quad (1.9)$$

Формула Сирі відповідає значенням $\rho_{\text{БМТ}} = 1,10$ г/мл, $\rho_{\text{ЖМТ}} = 0,90$ г/мл, а формула Брожека базується на понятті умовної людини із заданою щільністю та складом тіла та не використовує безпосередньо оцінку $\rho_{\text{БМТ}}$. Щільність тіла умовної людини приймається 1,064 г/мл. У межах значень щільності тіла від 1,03 до 1,09 г/мл формули Сирі та Брожека дають висококорельовані оцінки $\% \text{ЖМТ}$ (відмінності не перевищують 0,5%ЖМТ), проте у випадку індивідів із вираженим виснаженням або ожирінням різниця оцінок $\% \text{ЖМТ}$ на основі цих двох формул збільшується, а більш точною виявляється формула Брожека

$$\% \text{ЖМТ} = (497,1/\rho_{\text{Т}}) - 451,9. \quad (1.10)$$

З формули (1.8) випливає, що для отримання надійної оцінки %ЖМТ необхідно знати щільність безжирової маси тіла високою точністю, оскільки в знаменнику першого співмножника правої частини (1.8) стоїть різниця двох близьких величин: $P_{\text{БМТ}}$ та $P_{\text{ЖМТ}}$. Наприклад, легко обчислити, що 1% відносна похибка завдання щільності безжирової маси тіла ПБМТ (що відповідає 0,011 г/мл) призводить до 3,5–4% відносної помилки визначення %ЖМТ.

Інша можливість визначення складу тіла у двокомпонентній моделі пов'язана з оцінкою вмісту води в організмі.

Загальна вода організму (ЗВО) – це найбільша за масою складова безжирової маси тіла. Відсотковий вміст води в організмі у дітей та підлітків збільшується в ході розвитку, стабільний у дорослих людей та знижується до старості.

Розглянута двокомпонентна модель (1.7) відповідає молекулярному рівню будови тіла. Однак, фізіологічна інтерпретація одержуваних результатів у разі ускладнена через неоднорідності складу ліпідів і безжирової маси. З урахуванням цього американський лікар Альберт Бенке ввів у вжиток поняття худої маси тіла (lean body mass), що дорівнює сумі безжирової маси тіла та маси суттєвого жиру, і запропонував розглядати наступну двокомпонентну модель складу тіла:

$$MT = MNJ + TMT, \quad (1.11)$$

де МНЖ – маса несуттєвого жиру в організмі, а ТМТ – тонка маса тіла.

Зважаючи на невизначеність, пов'язану з оцінкою вмісту суттєвого жиру, поняття худої маси виявилось мало придатним для вивчення складу тіла і згодом нерідко помилково використовувалося як синонім безжирової маси (fat-free mass).

Двокомпонентну модель складу тіла можна використовувати для характеристики групових середніх значень. Через значну варіацію складу та

щільності безжирової маси тіла (БМТ) вона мало придатна для моніторингу змін складу тіла на індивідуальному рівні за винятком випадків попередньої діагностики та оцінки ефективності лікування вираженого виснаження або ожиріння.

Дві найпоширеніші трикомпонентні моделі складу тіла включають в себе показник безжирової маси тіла, що представлений як сума ЗВО та сухої маси тіла без жиру (СМТБЖ) [19].

$$MT = ЖМТ + БМТ = ЖМТ + ЗВО + СМТБЖ. \quad (1.12)$$

Тоді маємо таку тотожність:

$$V = V_{ЖМТ} + V_{ЗВО} + V_{СМТБЖ}, \quad (1.13)$$

де V – об'єм тіла;

$V_{ЖМТ}$ – об'єм жирової маси;

$V_{ЗВО}$ та $V_{СМТБЖ}$ – об'єм ЗВО та СМТБЖ, відповідно.

Тоді вираз для відсоткового вмісту жиру в організмі трьох компонентної моделі

$$\%ЖМТ = P_{ЖМТ} \left(\frac{1}{P_T} - \frac{\frac{ЗВО}{MT}}{P_{ЗВО}} - \frac{\frac{СМТБЖ}{MT}}{P_{СМТБЖ}} \right) \times 100. \quad (1.14)$$

Вимірюваними величинами є маса тіла, щільність тіла і загальна вода організму (ЗВО). Рівняння трикомпонентної моделі виходять, якщо задати конкретні значення $P_{ЖМТ}$, $P_{ЗВО}$, $P_{СМТБЖ}$ та зафіксувати співвідношення ЗВО/СМТБЖ.

Формула Сірі трикомпонентної моделі складу тіла має наступний вигляд:

$$\%ЖМТ = [2,118/ПТ - 0,78 \times (ЗВО/МТ) - 1,354] \times 100. \quad (1.15)$$

Інша трикомпонентна модель складу тіла має вигляд:

$$МТ = ЖМТ + ММТ + БФМТ, \quad (1.16)$$

де ММТ – мінеральна маса тіла,

БФМТ – безжирова фракція м'яких тканин.

Відповідна формула трикомпонентної моделі для обчислення %ЖМТ, яка виводиться аналогічно (1.15), має такий вигляд:

$$\%ЖМТ = [6,386/ПТ - 3,961 \times (ММТ/МТ) - 6,090] \times 100. \quad (1.17)$$

Для визначення мінеральної маси тіла зазвичай застосовуються радіоізотопні або рентгенівські методи. Тому використання трьох компонентних моделей для характеристики популяцій здорових дорослих людей та підлітків дозволяє дещо покращити точність оцінки %ЖМТ.

Основна невизначеність оцінки %ЖМТ на основі формул чотирикомпонентної моделі пов'язана з природною варіацією відношення білок / мінеральна маса тіла, так як надійна оцінка загальної маси білка в організмі *in vivo* можлива лише при вимірюванні вмісту азоту методом нейтронного активаційного аналізу [19], доступним лише в декількох лабораторіях світу. Тому, зазвичай, використовується припущення про сталість зазначеного відношення. Однак навіть при моніторингу короткострокових змін жирової маси під дією фізичного навантаження або зміни режиму живлення клітинна та білкова маса тіла можуть зазнавати коливань. Тому використання трьохкомпонентної моделі є найпоширенішим випадком.

Незважаючи на зручність антропометричних методів, головними факторами їх застосування, що обмежують, є низька точність і залежність від навичок фахівця. Саме тому в даний час великого поширення набувають інструментальні методи аналізу складу тіла.

В даний час для виявлення надлишкової маси тіла в клінічній практиці можуть застосовуватися різні методи, наприклад магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ), двоенергетична рентгенівська абсорбціометрія, гідростатична денситометрія та плетизмографія з витісненням повітря, що дозволяють наочно визначити наявність тканини. Однак застосування даних методів у повсякденній практиці утруднене через їхню дорожнечу, обмеження за віком та масою тіла (наприклад, для деяких апаратів МРТ маса тіла обстежуваного не повинна перевищувати 120 кг), а також складності проведення дослідження [20].

Існує велика кількість методів оцінки складу тіла, які рідко застосовуються у клінічній практиці внаслідок великої вартості та непрактичності, проте є незамінними під час проведення наукових досліджень.

Для оцінки загальної кількості води в організмі використовують метод гідрометрії. Для неінвазивної оцінки вмісту білка в організмі та визначення загальної кількості клітинної маси застосовується дослідження природної радіоактивності всього організму. Нейтронний активаційний аналіз використовують для аналізу складу тіла на елементарному рівні. Даний метод дозволяє точно виміряти загальний вміст в організмі таких елементів, як кальцій, натрій, хлор, фосфор, азот, водень, кисень та вуглець [21].

ПЕТ-сканування (ПЕТ/КТ, ПЕТ/МРТ) використовується для виявлення областей із високою метаболічною активністю. Технологія ПЕТ/КТ з фтордезоксиглюкозою як індикатор в даний час розглядається як «золотий стандарт» для виявлення депо бурої жирової тканини в організмі. Важливість бурої жирової тканини пояснюється її протективним впливом на організм

людини при ожирінні та серцево-судинних захворюваннях [22]. ЯМР-спектроскопія застосовується для вимірювання кількості внутрішньопечінкових ліпідів, внутрішньоміоцелюлярних ліпідів (англ. intramyocellular lipid – IMCL) та позаміоцелюлярних ліпідів (англ. extramyocellular lipid – EMCL) у м'язових волокнах. Так, деякими авторами було показано, що фізична активність та загальна фізична форма пов'язані з підвищенням вмісту IMCL, тоді як у людей з надмірною вагою або ожирінням спостерігається збільшення кількості EMCL. Також було досліджено, що збільшення співвідношення EMCL/IMCL у м'язах пов'язане із підвищеною жорсткістю артерій у дорослих людей. [16, 23].

Альтернативою даним методам може виступати біоімпедансний аналіз складу тіла (БІАСТ), який через свої очевидні переваги (простота у використанні, неінвазивність, відсутність променевого навантаження, необхідність спеціального навчання тощо) може застосовуватися у повсякденній клінічній практиці лікарями різних спеціальностей. Слід також зазначити, що основною перевагою БІАСТ перед рештою методів оцінки складу тіла є практично повна відсутність протипоказань до його застосування (табл. 1.1) [24].

Таблиця 1.1 – Відмінності методів оцінки складу тіла на підставі абсолютних та відносних протипоказань до їх застосування

Протипоказання	МРТ	КТ	DEXA	ГД	ПП	БІАСТ
1	2	3	4	5	6	7
Наявність кардіостимулятора та інших електронних пристроїв.	+	-	-	-	-	+
Наявність великих металевих імплантантів (протезів), кровоспинних кліпс у судинах тощо	+	-	+	-	-	-
Вагітність, період лактації.	+	+	+	-	-	-

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Клаустрофобія, страх занурення під воду.	+	+	-	+	+	-
Неадекватний стан пацієнта (психомоторне збудження, алкогольне сп'яніння, панічна атака та ін.	+	+	+	+	+	-
Неможливість зберігати нерухоме становище	+	+	+	-	-	-
Тяжкий і вкрай тяжкий стан пацієнта.	+	+	-	+	+	-
Наявність татуювань з металовмісними барвниками	+	-	-	-	-	-
Маса тіла >120 кг	+	+	+	-	-	-
Окружність талії перевищує діаметр тунелю апарату.	+	+	-	-	-	-
Дитячий вік	+	+	+	+	-	-
Проведення досліджень з контрастуванням за 72 год і раніше.	-	-	+	-	-	-
Літній вік, наявність захворювань, включаючи інфекційні	-	-	-	+	-	-

Примітка: МРТ – магнітно-резонансна томографія; КТ – комп'ютерна томографія; DEXA – двоенергетична рентгенівська абсорбціометрія; ГД – гідростатична денситометрія; ПП – повітряна плетизмографія; БІАСТ – біоімпедансний аналіз.

Крім того, важливу роль відіграють час, необхідний для дослідження, наявність спеціальної апаратури, необхідної для здійснення аналізу. Відмінною

особливістю та перевагою БІАСТ є компактні розміри приладів, їхня порівняно невисока вартість та швидкість виконання аналізу, що дозволяє використовувати даний метод з метою скринінгу у великих популяційних дослідженнях (табл. 2).

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика методів оцінки складу тіла

Характеристика методу	МРТ	КТ	DEXA	ГД	ПП	БІАСТ
Наявність дорогого обладнання великих розмірів	+	+	+	+	+	-
Орієнтовна тривалість виконання дослідження, хв	30 - 45	до 30	2 - 5	до 60	5 - 7	до 10
Можливість застосування в домашніх умовах	-	-	-	-	-	+
Промєневе навантаження та інша дія фізичних полів	+	+	+	-	-	-
Можливість застосування в масштабних скринінгових дослідженнях	-	-	-	-	-	+
Наявність обмежень за масою тіла, віком та супутньою патологією	+	+	+	+	+	-

Відсутність променевого навантаження в своєю чергою дає можливість проводити дослідження в динаміці набагато частіше ніж 1 раз у рік і цим контролювати перебіг лікування [25, 26]. Таким чином, незважаючи на технології, що застосовуються в даний час для створення біоімпедансних аналізаторів і проведення БІАСТ, очевидною є необхідність подальшого вдосконалення методу для отримання більш точних і коректних результатів і мінімізації можливих похибок, пов'язаних з його застосуванням.

Таким чином, біоімпедансний аналіз є зручним і недорогим засобом моніторингу складу тіла людини, що зумовлює його популярність серед фахівців різного профілю. Однак незважаючи на переваги технології біоімпедансу та її

поширеність, у даного способу оцінки складу тіла існують досить значні недоліки, до яких насамперед відносяться зниження точності дослідження при порушенні водно-електролітного балансу та варіативність вимірювань залежно від пристрою та індивідуальних характеристик пацієнта (підлога), вік, етнічна приналежність, рівень ожиріння та фізичної активності).

1.3 Огляд засобів визначення компонентного складу тіла людини

Каліперометрія є одним з стандартних методів, що використовуються для вивчення складу тіла *in vivo*, а розроблені на її основі прогнозуючі формули визначення складу тіла добре себе зарекомендували для вирішення низки практичних завдань спортивної, оздоровчої та клінічної медицини [2, 5]. У розробці загальних принципів каліперометричних вимірів і формул вивчення складу тіла в різних популяцій брали участь багато дослідників.

Сьогодні у світі виробляється велика кількість різних моделей каліперів, що відрізняються один від одного конструктивними особливостями, точністю вимірювання, умовами застосування, ціною та іншими показниками. Одним з найбільш часто використовуються в клінічній практиці та наукових дослідженнях є каліпер Ланге [27], конструкція якого відповідає сучасним вимогам, що пред'являються до подібних пристроїв (рис. 1.3). Помилка вимірів складає 1 мм.



Рис.1.3. Каліпер Ланге

Дослідження показали, що тиск у ділянці зіткнення каліпера Ланге зі шкірою, що дорівнює існуючому стандарту 10 г/мм^2 , забезпечує оптимальну точність визначення складу тіла порівняно з вищими та нижчими значеннями.

При цьому за рахунок низького коефіцієнта тертя в опорних точках підпружинених дуг каліпера, контактні площини яких орієнтовані паралельно один одному, ця величина зберігається практично постійною при вимірі товщини складки в широкому діапазоні від 0 до 40 мм і вище.

Каліпер Харпенден (British Indicators, Великобританія) (рис. 1.4) протягом багатьох років був стандартом для використання в наукових дослідженнях [28].



Рис. 1.4. Каліпер Харпендена

На сьогоднішній день більшість даних, що відносяться до вимірювання шкірножирових складок, та формул для оцінки складу тіла на основі каліперометрії отримано з використанням цього каліпера.

Каліпер Skyndex I (Caldwell Justiss, США) має вбудований мікропроцесор, що обчислює процентний вміст жиру в організмі на основі однієї чи двох з наступних формул: Jackson-Pollock (для дорослих спортсменів з низьким відносним вмістом жиру, по 3 складках), Durnin (для дорослих людей, що належать до загальної популяції, по 4 складках), та Slaughter-Lohman (для дітей від 6 до 17 років 2 складки).

Застосування цього пристрою позбавляє необхідності ручних обчислень або використання спеціальних таблиць для визначення процентного вмісту жиру в організмі, що знижує ймовірність випадкової помилки.

Електричний імпеданс біологічних об'єктів вимірюють за допомогою спеціальних пристроїв біоімпедансних аналізаторів. Залежно від набору частот змінного струму, що використовується, біоімпедансні аналізатори відносять до одночастотних (вимірювання проводяться на одній частоті, як правило, що дорівнює 50 кГц – у цьому випадку реактивна компонента імпедансу тканин м'язів близька до максимальної), двочастотним або багаточастотним (використовується кілька частот змінного струму в широкому діапазоні – від 1 кГц до 1,3 МГц). В останньому випадку метод має назву біоімпедансної спектрометрії [19, 29].

В даний час випускається велика кількість різної апаратури для біоімпедансометрії. Біоімпедансні аналізатори виробляються у багатьох країнах світу. В даний час використовується не менше 100 таких приладів, більшість з яких недорогі одночастотні аналізатори, що застосовуються у спортивно-оздоровчій медицині для контролю жирової та скелетно-м'язової маси тіла. Наприклад біоімпедансний аналізатор «Диамант» дозволяє визначити кількість рідини в організмі, індекс маси тіла, швидкість основного обміну, активну клітинну маса, або АКМ та м'язову масу тіла (рис. 1.5).

Перші формули для оцінки ЖМТ, вбудовані в програмне забезпечення біоімпедансних аналізаторів, були отримані на основі регресійного аналізу з використанням даних гідростатичної денситометрії. Вони показали відносно високу відповідність оцінок складу тіла у людей з нормальним рівнем харчування, але у разі надмірної або недостатньої маси тіла призводили до заниженої або, відповідно, завищеної оцінки. Середньоквадратичне відхилення результатів визначення %ЖМТ методом біоімпедансометрії від підводного

зважування для загальної популяції в ранніх публікаціях оцінювалося на рівні 5–6,4% [30]

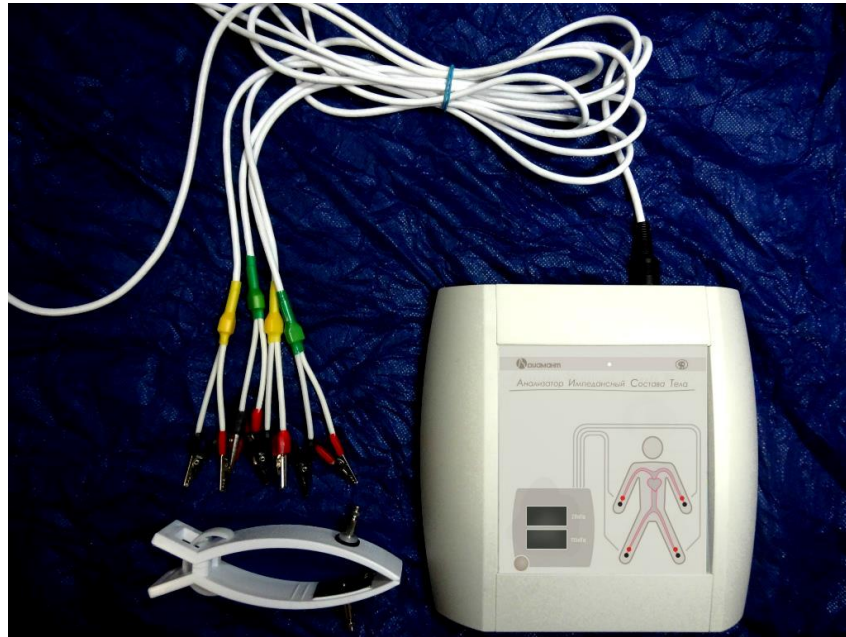


Рис. 1.5. Біоімпедансний аналізатор «Диамант»

Більш дорогі двочастотні та багаточастотні біоімпедансні аналізатори застосовуються в основному в клінічній медицині та наукових дослідженнях. Пристрої відрізняються за частотою (або набором частот) змінного струму, за вимірюваними показниками (активний, реактивний і повний опір, фазовий кут), рекомендованим схемам накладання електродів і вбудованим формулам для визначення складу тіла.

Деякі моделі біоімпедансних аналізаторів виконані у вигляді ваг, що вимірюють характеристики імпедансу ніг і пахової області (рис. 1.6). Основний виробник такого обладнання – японська фірма Tanita [31]. Професійні моделі аналізаторів підключаються до ПК та дають можливість оцінки ЖМТ, скелетно-м'язової маси, ЗВО, діапазону жирової маси та інших показників.



Рис. 1.6. Ваги-аналізатори складу тіла «Tanita BC-313 Black»

Професійний аналізатор «Tanita» має вбудовану інформаційну систему «GMON Professional», яка дозволяє контролювати вагу пацієнта, проводити загальну перевірку здоров'я та оцінювати фізичну підготовку пацієнта (рис. 1.7) [32].

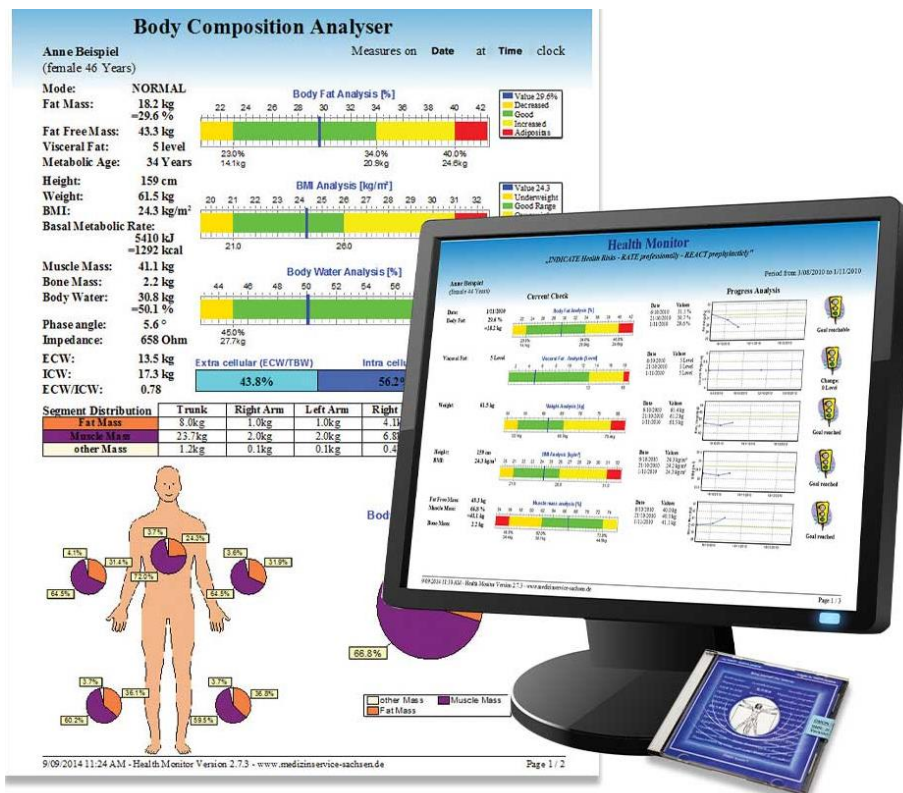


Рис. 1.7. Інтерфейс оболонки інформаційної системи «GMON Professional»

Програмне забезпечення можна легко підключити до будь-яких апаратів лінійки Tanita Professional через USB або RS-232C. GMON Professional дозволяє зберігати інформацію про клієнтів та включає дані аналізу, які дають можливість медичним працівникам, особистим тренерам та спортсменам мати доступ до поглибленої інформації, яка дозволить їм розробляти індивідуальні програми фітнесу, зниження ваги та тренувань.

Інші моделі можна використовувати для індивідуального самоконтролю у домашніх умовах. Фірми Omron (Японія) та American Weights and Measures (США) випускають ручні біоімпедансні жиροаналізатори, що знімають інформацію з плечового пояса (рис. 1.8) [33].



Рис. 1.8. Ручний біоімпедансні жиροаналізатор «Omron BF-306»

Застосування таких пристроїв суттєво обмежує можливості біоімпедансного аналізу. Використання характеристик електричного опору невеликих ділянок тіла може спричинити суттєву похибку оцінки інтегральних показників складу тіла. Помилка визначення %ЖМТ із використанням ручного аналізатора BF-306 (Omron) у порівнянні з чотирикомпонентною моделлю становить 4,5%.

Найкращу точність оцінки складу тіла методом біоімпедансометрії забезпечують пристрої для вимірювання імпедансу всього тіла за стандартною схемою – з накладенням електродів на гомілку та зап'ястя. При цьому

спостерігається тенденція до вироблення єдиних стандартів устаткування, що випускається, програмного забезпечення та процедури вимірювань.

Так, відомий аналізатор складу тіла «InBody 270» з інноваційною системою ВІА (біоелектричного імпедансного аналізу), який дає 96% точність результатів вимірювання та представляє швидкий та неінвазивний метод діагностики складу тіла (рис. 1.9) [34].



Рис. 1.9. Аналізатор складу тіла «InBody 270»

Даний апаратно-програмний комплекс має прямий сегментарний вимір імпедансу по кожному сегменту тіла одночасно (тулуб містить більшу кількість худой маси тіла, незалежний вимір тулуба необхідний для точності вимірювання маси м'язів), а симультаний багаточастотний аналіз біоелектричного опору (smf-bia(sad)) дозволяє точно вимірювати ICW (внутрішньоклітинну) та ECW (позаклітинну) рідини одночасно, зменшуючи відхилення в результатах вмісту води для більш швидкого вимірювання складу тіла. Однак, його висока вартість

обумовлює невисокий відсоток використання цього апарату у медичних закладах.

Основним недоліком розглянутих комплексів є відсутність можливості врахування конституційних особливостей складу тіла людини, що призводить до похибок у розрахунку основних індексів (ІМТ, індекс Кетле, тощо).

Окрім апаратно-програмних комплексів відомі різні інтернет-ресурси, що представляють собою online калькулятори для розрахунку окремих показників та індексів. Так, наприклад, існує «Калькулятор ІМТ» від фірми «Genesis» [35], який представляє собою найпростіший варіант програмного забезпечення для контролю за станом тіла та здоров'я людини (рис. 1.10).

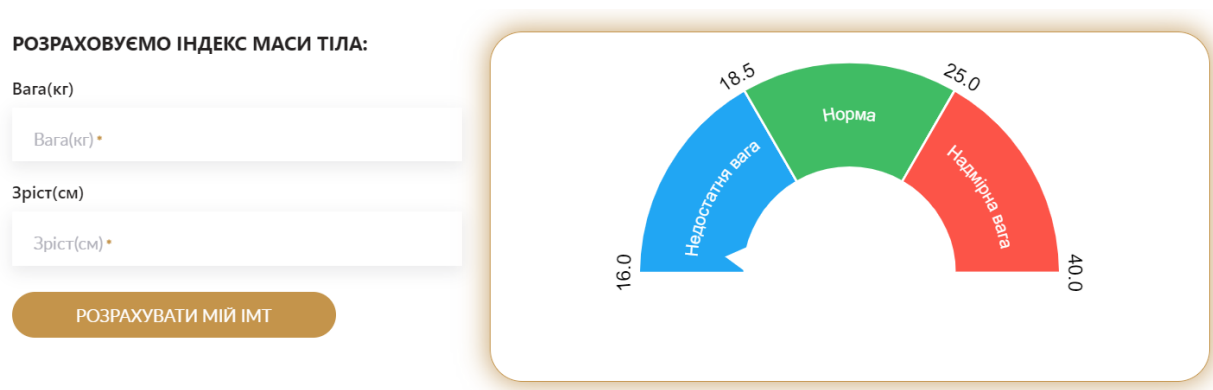


Рис. 1.10. Online калькулятор ІМТ

Після введення показників ваги та зросту людини автоматично розраховується індекс ІМТ та наводяться рекомендації щодо загального здоров'я людини.

Для контролю за власним здоров'ям розробниками компанії «Alador» пропонується використовувати мобільний додаток «Калькулятор калорій», який дозволяє розрахувати загальний обмін за формулою Mifflin-St. Jeor і використовується для розрахунку показників користувача зі звичайним ІМТ (в діапазоні індексів 19 - 25), коли немає необхідності знати відсотковий вміст тілесного жиру.

Для користувачів з ІМТ за межами нормального діапазону додаток пропонує використовувати стандартну формулу Katch-Mcardle, яка також враховує жирові відкладення (рис. 1.11).

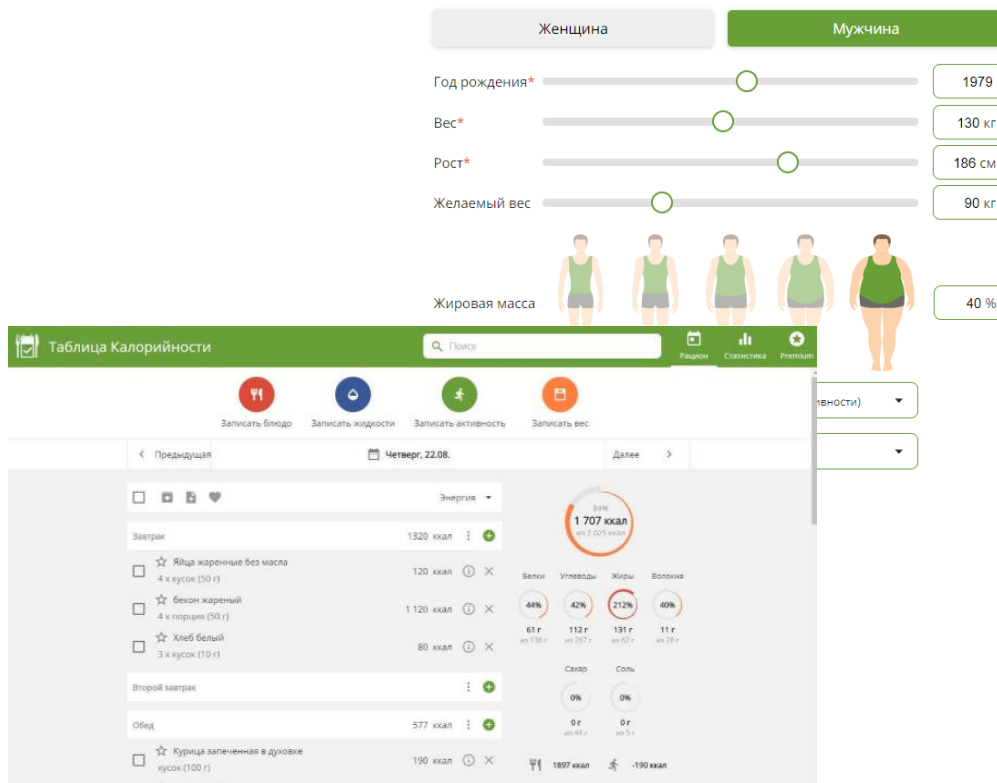


Рис. 1.11. Діалогові вікна мобільного додатка «Калькулятор калорій»

Також є відомим програмний продукт «Nutrilog», який дозволяє шляхом спряження із біоімпедансним аналізатором «Aminostats Bio-ZM» визначати склад тіла людини за основними показниками та відслідковувати еволюцію змін за допомогою кривих прогресування (рис. 1.12) [36].

За результатами аналізу програмний засіб дозволяє надавати відповідні рекомендації щодо харчування та слідкувати за прогресом дієтотерапії.

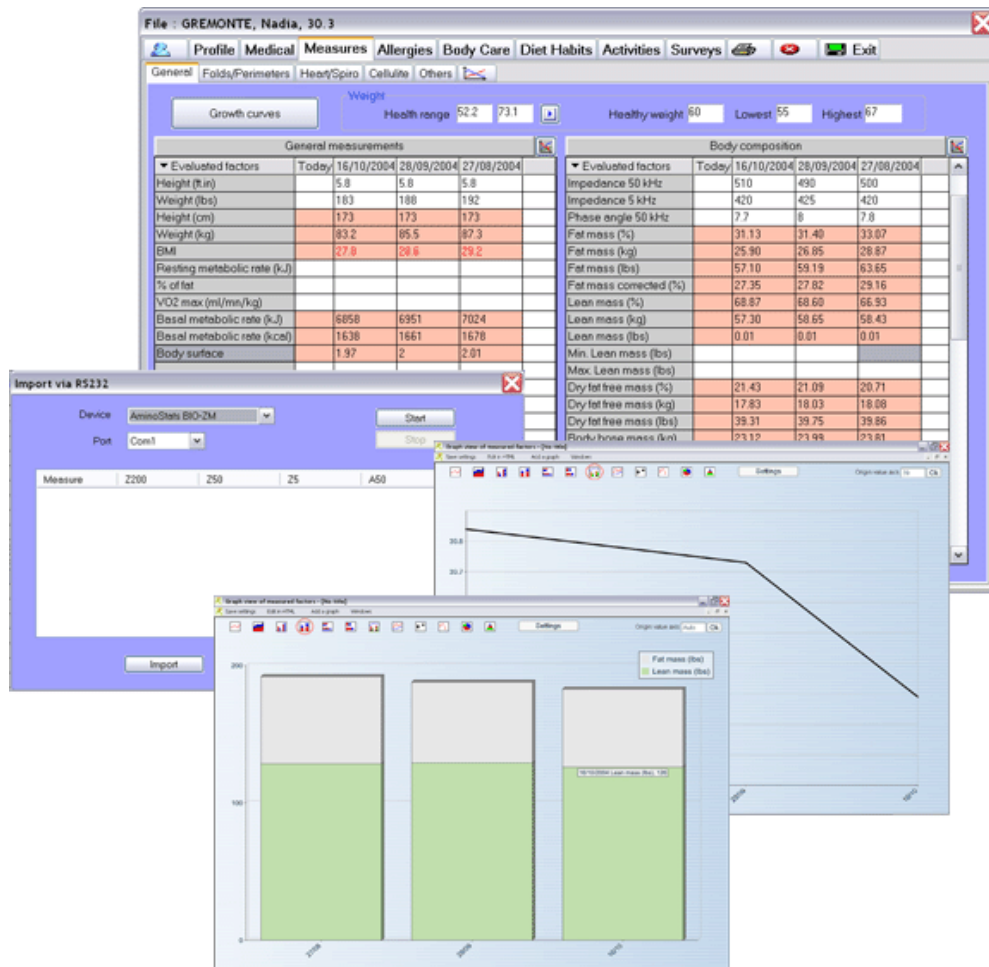


Рис. 1.12. Діалогові вікна програмного забезпечення «Nutrilog»

Таким чином, проведений аналіз існуючих методів та засобів визначення складу тіла людини показав, що на сьогодні існує достатня кількість відомих схем визначення окремих частин складу тіла людини. Однак, очевидною є необхідність подальшого вдосконалення методу біоімпедансометрії для отримання більш точних і коректних результатів і мінімізації можливих похибок, пов'язаних з його застосуванням. Отже розробка методу та засобу визначення складу тіла людини є актуальним науковим та практичним завданням.

2 РОЗРОБКА МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ

Вивчення складу тіла людини широко використовується в спортивній медицині та індустрії велнес; для оцінки ефективності відновлення центрального та периферичного кровообігу; при лікуванні порушень діяльності печінки та нирок, низки супутніх проявів (набряк нижніх кінцівок, легень, асцит, переломи); у дієтології для формування та контролю ефективності медичних дієт.

У зв'язку з цим проблема підвищення точності оцінки складу тіла на базі біоімпедансометрії є актуальною, оскільки її вирішення дозволить точніше оцінювати ефективність лікувального процесу.

Метод визначення складу тіла людини, який пропонується, складається з наступних кроків.

Етап 1. У процесі попереднього обстеження людини визначаються такі показники:

- вік та зріст – як результат бесіди с пацієнтом;
- загальна маса тіла (визначається за допомогою звичайних ваг);
- коло талії, коло ший, обхват зап'ястя, коло грудей у спокої – визначаються шляхом вимірювання за допомогою гнучкого сантиметра;
- шкірно-жирові складки з правого боку та над серединою біцепса і над серединою трицепса, а також під лопаткою і на животі на відстані від пупка 5 см (шляхом каліпометрії).

Етап 2. Визначення стандартних показників статури та індексу маси тіла.

Для оцінки фізичного розвитку індивідів використовують таблиці значень різних антропометричних ознак, таких як маса і довжина тіла, а також периметр грудної клітини. Усього існує декілька десятків індексів, однак основний інтерес для характеристики складу тіла становлять ті індекси, у побудові яких бере участь ознака маси тіла. В даний час найбільшого поширення набув індекс Кетле, іноді званий індексом Кетле-Гульда-Каупа:

$$\text{Індекс Кетле} = \text{Маса тіла, кг} / (\text{Довжина тіла, м})^2. \quad (2.1)$$

В табл. 2.1 наведені нормальні значення індексу Кетле з урахуванням віку

Таблиця 2.1 – Нормальні значення індексу Кетле з урахуванням віку

Вікова група	Нормальні значення індексу
19–24 роки	<20
25–34 роки	20–25
35–44 роки	21–26
45–54 роки	22–27
55–64 роки	23–28
>65 років	24–29

У зв'язку зі збільшенням у більшості країн світу частоти надмірної маси тіла та ожиріння індекс Кетле має важливе значення для скринінгових досліджень та вироблення рекомендацій у галузі здорового харчування та зниження ваги. Однак, для визначення ризику супутніх патологій необхідно, також, знати індекс ожиріння тіла ІОТ.

У табл. 2.2. наводиться класифікація значень ІОТ із зазначенням ризику супутніх захворювань, запропонована ВООЗ.

На сьогоднішній день існує декілька способів розрахунку індексу ІОТ.

Найбільшого поширення має визначення ІОТ за формулою:

$$\text{ІОТ} = (\text{ОС} / (3)^{1.5}) - 18, \quad (2.2)$$

де ОС – окружність стегон в сантиметрах;

З – зріст в метрах.

Таблиця 2.2 – Класифікація значень ІОТ, запропонована ВООЗ, та ризик супутніх захворювань

ІМТ, кг/м ²	Класифікація	Ризик супутніх захворювань
Менший за 18,5	Дефіцит маси тіла	Низький (але підвищується ймовірність інших клінічних ускладнень)
18,5–24,9	Нормальна маса тіла	Середній
25,0-29,9	Надмірна маса тіла	Помірно підвищений
30,0–34,9	Ожиріння I ступеня	Значно підвищений
35,0-39,9	Ожиріння II ступеня	Сильно підвищений
Понад 40	Ожиріння III ступеня	Різко підвищений

Однак, для більш точного розрахунку необхідно враховувати і конституційні особливості статури людини. Для цього пропонується використовувати конституційну схему Хіта і Картера. Індексне значення соматотипу людини визначається експертним шляхом (лікарем) [37].

Так, якщо людина має екоморфну статуру, то розрахунок ідеальної маси тіла ІдМТ виконується за допомогою формули Креффа:

$$\text{ІдМТ} = (L - 100 + (B/10)) \times 0,9 \times \text{КС}, \quad (2.3)$$

де В – вік людини в роках;

КС – коефіцієнт статури, що дорівнює 0,9 – при обхваті зап'ястя менше 15 см; 1 – при обхваті зап'ястя від 15 до 17 см; 1,1 – при обхваті зап'ястя понад 17 см.

При ендоморфній статуру ІдМТ розраховується за формулою страхової компанії «Metropolitan Life» [37]:

$$I_{дМТ} = 50 + 0,75 \times (L - 150) + (B - 20)/4. \quad (2.4)$$

При мезоморфній та наближеній до неї статури $I_{дМТ}$ розраховується за формулою Моннерота-Думайна, яка враховує тип статури, кісткову та м'язову масу людини:

$$I_{дМТ} = (L - 100 + (4 \times OЗ))/2, \quad (2.5)$$

де $OЗ$ – обхват зап'ястя у сантиметрах.

Коли людину не можна чітко віднести до того чи іншого соматотипу (за значеннями шкали Хіта і Картера займає позицію по середині між трьома основними типами), то IMT розраховується за формулою Борнгардта, яка враховує м'язову масу людини:

$$I_{дМТ} = (L \times OГ_{\text{спокою}})/240, \quad (2.6)$$

де $OГ_{\text{спокою}}$ – обхват грудей у спокої у сантиметрах.

Дали розраховуємо індекс WHR (індекс талія/стегна).

Співвідношення талії та стегон використовується як індикатор чи показник стану здоров'я людини та ризику розвитку у нього серйозних захворювань. Дослідження показують, що люди з «яблукоподібною» ендоморфною будовою тіла (щодо об'ємної талії) стикаються з більш високими ризиками для здоров'я, ніж володарі «грушоподібного» тіла, які мають відносно великий об'єм в області стегон.

Співвідношення використовується для вимірювання ступеня ожиріння, яке, своєю чергою, є можливим індикатором інших, більш серйозних захворювань. За визначенням ВООЗ, абдомінальне ожиріння відповідає

співвідношенню талії та стегон понад 0,90 для чоловіків та 0,85 для жінок, що відповідає індексу маси тіла (ІМТ) вище за 30,0.

Етап 3. Далі розраховується показник скелетно-м'язової маси тіла (СММ) за формулою, запропонованою у [38, 39], на основі обхватних розмірів тіла з урахуванням товщини шкірно-жирових складок :

$$\text{СММ (кг)} = \text{Довжина тіла (м)} \times (0,00088 \times \text{СОС}^2 + 0,00744 \times \text{СОП}^2 + 0,00441 \times \text{СОГ}^2) + 2,4 \times \text{Стать} - 0,048 \times \text{Вік (роки)} + \text{Раса} + 7,8, \quad (2.7)$$

де СОП – це скоригований обхват плеча (см), що дорівнює обхвату плеча мінус товщина шкірно-жирової складки на трицепсі;

СОС – обхват стегна мінус товщина складки на середині стегна (см);

СОГ – обхват гомілки мінус товщина складки на медіальній поверхні гомілки (см).

Показник Стать = 1 (чоловічий), 0 (Жіночий); раса = -2 (азіати), 1,1 (афроамериканці), 0 (білі та латиноамериканці).

Етап 4. Визначення вміст жиру в організмі.

Далі визначаємо відсотковий вміст жиру в організмі за формулою, що була запропонована на основі чотирикомпонентної моделі складу тіла:

$$\% \text{ЖМТ} = 64,5 - 848 / \text{ІМТ} + 0,079 \times \text{Вік} - 16,4 \times \text{Стать} + 0,05 \times \text{Стать} \times \text{Вік} + (39,0 \times \text{Стать}) / \text{ІМТ}, \quad (2.8)$$

де величина «Стать» приймає значення 0 для жінок і 1 для чоловіків, відповідно, а вік вимірюється в роках.

Показники %ЖМТ для чоловіків та жінок наведені в таблицях 2.3 та 2.4 [39].

Таблиця 2.3 – Класифікація відносного вмісту жиру (%ЖМТ) в організмі чоловіків

Характеристика	Вік, роки				
	20-29	30-39	40-49	50-59	>60
Дуже низький	< 11	< 12	< 14	< 15	< 16
Низький	11-13	12-14	14-16	15-17	16-18
Оптимальний	14-20	15-21	17-23	18-24	19-25
Помірно високий	21-23	22-24	24-26	25-27	26-28

Таблиця 2.4 – Класифікація відносного вмісту жиру (%ЖМТ) в організмі жінок

Характеристика	Вік, роки				
	20-29	30-39	40-49	50-59	>60
Дуже низький	< 16	< 17	< 18	< 19	< 20
Низький	16-19	17-20	18-21	19-22	20-23
Оптимальний	20-28	21-29	22-30	23-31	24-32
Помірно високий	29-31	30-32	31-33	32-33	33-35

Етап 5. Визначення худої маси тіла (ХМТ) та об'єма загальної води.

На основі виміряного значення активного опору під час біоімпедансометрії визначаються об'єм загальної води (ОЗВ) організму та худа маса тіла (ХМТ). Жирова маса обчислюється як різниця значень маси тіла та худої маси.

Так, для особи, віком від 19 до 61 року:

$$\text{ОЗВ} = 0,484 \cdot (\text{ДТ}^2/\text{R}) + 0,144 \cdot \text{МТ} + 1,356 \cdot \text{Стать} + 0,105 \cdot \text{X}_c - 0,057 \cdot \text{Вік}, \quad (2.9)$$

від 5 до 18 років:

$$\text{ОЗВ} = 0,60 * (\text{ДТ}^2 / \text{R}) - 0,50. \quad (2.10)$$

Для віку більшого за 61

$$\text{ОЗВ} = 0,372 * (\text{ДТ}^2 / \text{R}) + 3,05 * \text{Стать} + 0,142 * \text{МТ} - 0,069 * \text{Вік}, \quad (2.11)$$

де ДТ – довжина тіла (см);

МТ – маса тіла (кг);

R – значення активного опору (Ом);

X_C – значення реактивного опору (Ом).

Величина «Стать» приймає значення 0 (жінки) або 1 (чоловіки).

Встановлення інваріантних співвідношень між різними компонентами складу є важливим напрямом науки про склад тіла. Одне з таких співвідношень – рівень гідратації безжирової маси тіла, тобто величина ОЗВ/ХМТ, яка, як відомо, приблизно дорівнює 0,73. Тоді визначаємо індекс ХМТ за формулою [39]

$$\text{ХМТ} = \text{ОЗВ} / 0,732. \quad (2.12)$$

Рекомендований процентний вміст худой маси тіла для жінок – 75-80%, для чоловіків – 80-85%.

Основною складовою ОЗВ є кисень (88,9% маси ОЗВ), а жирової маси тіла (ЖМТ) – вуглець, який становить 75,9% ЖМТ. Ця обставина спричинила дослідження методом нейтронного активаційного аналізу співвідношення загального вмісту кисню в організмі (ЗВК) до маси тіла без вуглецю (МТБВ) в результаті чого було отримане рівняння для опису співвідношення ЗВК/МТБВ, як:

$$\text{ЗВК/МТБВ} = (0,728 - 0,609 * \%ЖМТ) * (0,895 - 0,654 * \%ЖМТ). \quad (2.13)$$

Етап 6. Визначення кількості позаклітинної рідини [19].

$$\text{КПР}=0,229*(\text{ДТ}^2/\text{Z}_1)+4,5, \quad (2.14)$$

де Z_1 – значення повного опору (Ом).

Етап 7. Визначення активної клітинної маси тіла та її долі у загальній масі.

Одна з найважливіших компонентів складу тіла – це клітинна маса тіла (КМТ), іноді також називається активною клітинною масою. КМТ містить 98-99% всього калію в організмі. До КМТ відносяться клітини печінки, нирок, серця, гладкої мускулатури, нервової та паренхіматозної тканин, а також клітини інших органів і тканин, що містять калій у такій же концентрації [40] і в нормі складає 42,9% маси тіла.

Етап 8. Визначення загальної кількості рідини в організмі.

Загальна кількість рідини визначається для різних вікових груп по різному [19, 41].

Так, для особи віком від 7 до 15 років включно, як:

$$\text{ЗКР}= 0,406*(\text{ДТ}^2/\text{R})+0,36*\text{МТ}+5,58*\text{ДТ}+0,56*\text{Стать}-6,48. \quad (2.15)$$

Від 16 до 25, як:

$$\text{ЗКР}= 0,182*(\text{ДТ}^2/\text{R})+0,682*\text{МТ}-0,185*\text{СГ}-0,244*\text{СТ}-0,202*\text{ПЛ}+4,338, \quad (2.16)$$

де ПЛ – товщина підлопаткової шкірно-жирової складки (мм);

СГ – товщина складок на гомілці (мм);

СТ – товщина складок трицепсі (мм).

Від 26 до 99 років як

$$ЗКР = 0,518 \cdot (ДТ^2/R) + 0,231 \cdot МТ + 0,130 \cdot X_C + 4,229 \cdot Стать - 4,104. \quad (2.17)$$

Нормальні значення загальної кількості рідини в організмі людини наведені на рис. 2.1.

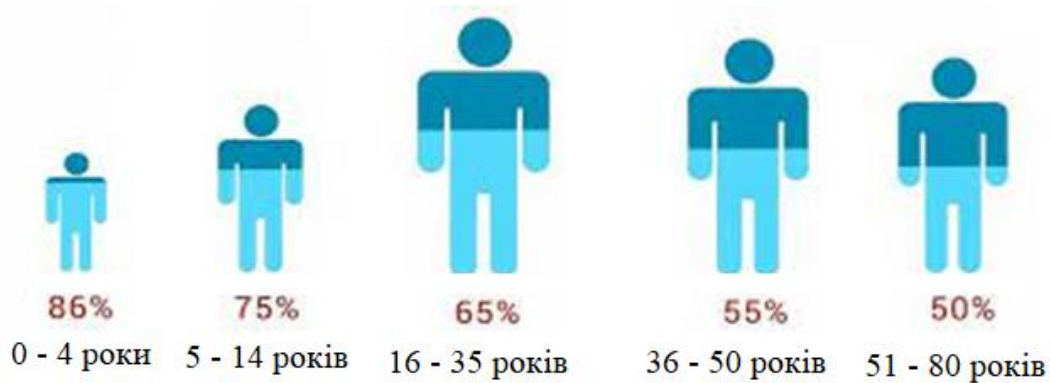


Рис. 2.1. Загальна кількість рідини в організмі людини в залежності від віку

Етап 9. За виміряними значеннями розраховуються основний обмін.

Рівень основного обміну розраховують на трьох рівнях: загальному, тканинному та клітинному [19].

Розрахунок основного обміну на загальному рівні ($ОО_3$) є найбільш вживаний варіант для оцінки добової норми енергетичних потреб людини, при цьому формула розрахунку буде залужити як від віку, так і статі людини. Відповідно до рекомендацій ВООЗ основний обмін на загальному рівні у загальному випадку для дорослої людини визначатиметься як:

$$ОО_3 = 64,4 \cdot I_{дМТ} + 113,0 \cdot ДТ + 3000 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для чоловіків та} \quad (2.18)$$

$$ОО_3 = 55,6 \cdot I_{дМТ} + 1397,4 \cdot ДТ + 146 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для жінок.}$$

У випадку дітей та підлітків віком від 10 до 18 років розрахунок буде вестись за наступними виразами:

$$OO_3 = 69,4 \times I_{дМТ} + 322,2 \times ДТ + 2392 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для юнаків,} \quad (2.19)$$

$$OO_3 = 30,9 \times I_{дМТ} + 2016,6 \times ДТ + 907 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для дівчат,}$$

де ДТ – довжина тіла особи у сантиметрах.

Для чоловіків та жінок віком від 18 до 30 років основний обмін на загальному рівні визначатиметься як:

$$OO_3 = 64,4 \times I_{дМТ} + 113,0 \times ДТ + 3000 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для чоловіків,} \quad (2.20)$$

$$OO_3 = 55,6 \times I_{дМТ} + 1397,4 \times ДТ + 146 \text{ [кДж/добу]} \text{ – для жінок.}$$

В середньому основний обмін на загальному рівні для дорослої людини складає 5000-8368 кДж. Але це значення може змінюватись під дією різних факторів: будь-то вік, стать, тип статури та рід діяльності людини (у людей з великим фізичним навантаженням цей показник буде завищений, а у осіб, що ведуть пасивний спосіб життя – занижений).

Добова норма енерговитрат в залежності від статі та віку для осіб з нормальним значенням ІМТ наведена на рисунку 2.2.

На тканевому рівні основний обмін розраховується як:

$$OO_T = 8,8 \times \%ЖМТ + 54,4 \times СММ + 9,6 \times ХМТ + 225,9 \times (\text{Маса залишку}) \text{ [кДж/добу]}. \quad (2.21)$$

Маса тіла, кг	Стать Вік	Добові енерговитрати, кДж			
		18–29 років	30–39 років	40–59 років	60–74 роки
60	чол.	6662	6285	5908	5447
	жін.	5782	5615	5447	5154
70	чол.	7333	6914	6495	5992
	жін.	6411	6243	6034	5698
80	чол.	8045	7584	7123	6578
	жін.	7039	6830	6620	6285

Рис. 2.2. Додова норма енерговитрат в залежності від статі та віку для осіб з нормальним значенням ІМТ

Значення основного обміну на клітинному розраховується як:

$$OO_k = 21,6 \times XMT + 370. \quad (2.22)$$

Загальна структура метода наведена в додатку Б.

Таким чином, розроблений метод заснований на реєстрації суттєвих відмінностях питомої електропровідності жирової тканини та худої маси тіла та в поєднанні з антропометричними індексами дає можливість одночасної оцінки таких клінічно значущих параметрів, як активна клітинна маса та основний обмін, а також вивчення не тільки інтегральних, а й локальних параметрів складу тіла й основного обміну.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДА ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ

3.1 Експериментальна перевірка методу визначення складу тіла людини

Для експериментальної перевірки розробленого методу були використані дані 34 осіб (чоловічої та жіночої статі віком від 18 до 22 років), які були розділені на 2 групи: група 1 – особи з умовно нормальною вагою (усього 20 осіб) та група 2 – особи з надмірною масою тіла (усього 14 осіб).

Відповідно до розробленого методу на першому етапі у процесі попереднього обстеження людини визначались вагові та антропометричні показники відповідно до стандартного протоколу антропометричного обстеження (дод. В). Результати для деяких показників наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати антропометричного обстеження осіб групи 1 та групи 2

Показник	Me [Q1; Q3]	
	Група 1	Група 2
Вік, роки	19 [18,5; 21]	20 [19; 21,5]
Довжина тіла, см	172 [156; 181,5]	167 [152; 178]
Загальна маса тіла, кг	58,5 [46,2; 77,4]	78,3 [54; 102,5]
Поверхня тіла (за Дюбуа), м ²	1,68 [1,44; 2,08]	1,87 [1,49; 2,20]
Обхват талії, см	78 [67; 85]	74 [69; 94]
Обхват зап'ястя, см	17 [14,5; 19]	18,5 [16; 20]
Обхват грудей у спокої, см	91 [83; 102]	88 [84; 104]

На другому етапі визначали стандартні показники статури та індекс маси тіла. Розраховане значення індекса Кетле-Гульда-Каупа в групі 1 склало 24,7 [22,1; 42,3], а у групі 2 – 32,3 [30,3; 47,6], що виходить за нормальні значення для досліджуваної вікової групи. Однак, наведений індекс не враховує конституційні особливості та стать осіб, які брали участь у дослідженні.

Для цього визначалось індексне значення соматотипу особи за конституційною схемою Хіта і Картера (рис. 3.1).

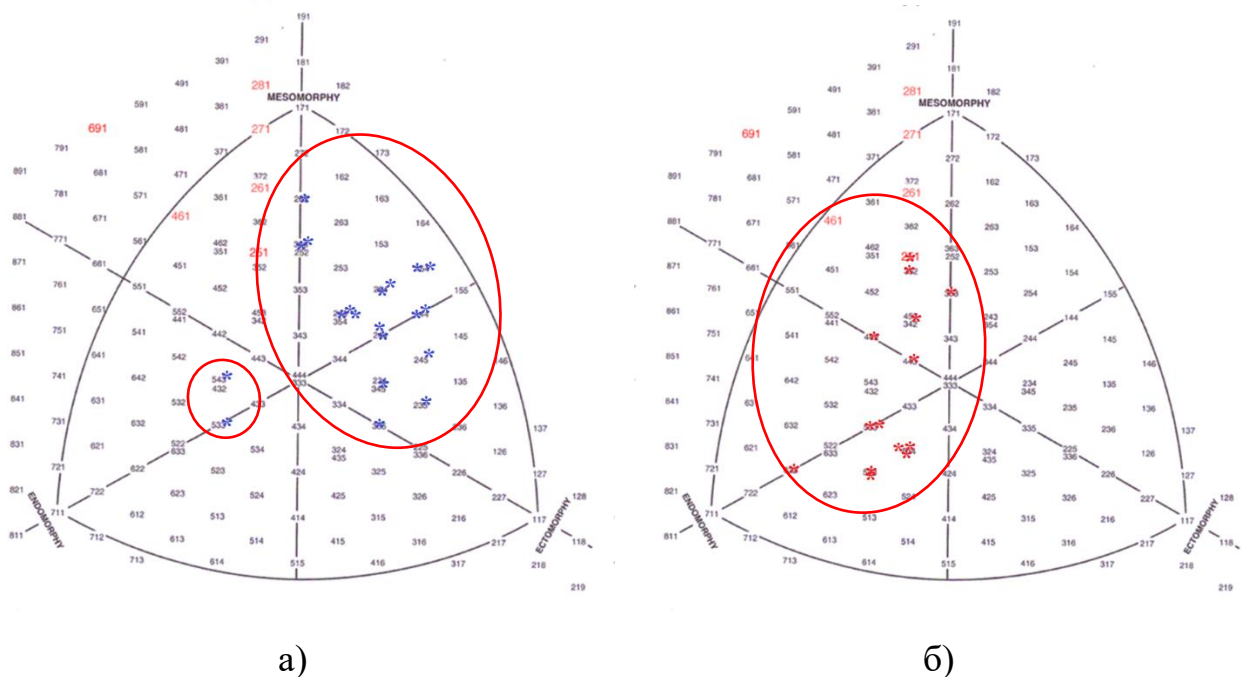


Рис. 3.1. Соматичний зріз Хіт- Картера для осіб досліджуваної групи 1 (а) та групи 2 (б)

Із наведених результатів бачимо, що в групі 1 70% осіб мають мезоморфно-ектоморфну статуру, 10% –ектоморфну статуру, 10% –мезоморфну статуру та 10% – ендоморфну статуру. 58% осіб в групі 2 мають ендоморфну статуру, 21% –мезоморфну статуру та ще 21 % – мезоморфно-ендоморфну статуру.

Отримані результати свідчать про те, що особи з ендоморфною та мезоморфно-ендоморфною статурою (79% групи 2) мають більшу схильність до

надмірної маси, ніж особи, які мають мезоморфну та мезоморфно-ектоморфну статуру (80% групи 1), що не суперечить відомим науковим дослідженням [13].

Далі для осіб обох груп розраховували ІдМТ відповідно до розробленого метода.

Для підтвердження коректності обраних методів для розрахунку ІМТ відповідно до статури учасників експерименту розраховували показники описової статистики: медіана, перший та третій квантилі. Вибір найбільш зіставних методів визначення ІдМТ здійснювався за допомогою обчислення непараметричного рангового критерія Уїлкоксона (W-test) [42]. Для порівняння точності збігу результатів із фактичною масою тіла проводили кореляційний аналіз Спірмена. Статистичну обробку матеріалу здійснювали з допомогою програмного засобу Microsoft Excel. Значення описових статистик щодо вибірок показників ІдМТ, визначених використаними нами методами, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення описових статистик показника ІдМТ

Показник		Me [Q1; Q3]	
		Група 1	Група 2
1		2	3
Ектоморфи	Фактична маса тіла	67 [66,5; 67,5]	-
	ІдМТ за Креффом	62,6 [59; 66,2]	-
Мезоморфи	Фактична маса тіла	73 [71; 75]	90 [88; 96]
	ІдМТ Моннерота-Думайна	68,5 [65,5; 71,5]	78 [76; 90]
Ендоморфи	Фактична маса тіла	79 [77; 79,5]	82 [80,5; 84]
	ІдМТ «Metropolitan Life»	74 [72,5; 75]	78,2[62,9; 80,5]
Змішаний соматотип	Фактична маса тіла	60 [52; 68,7]	64 [58; 76]
	ІдМТ Борнгардта	57 [55; 64,5]	62,5 [60,4; 70,2]

Порівняння вибірок даних за допомогою критерія Уїлкоксона виявило, що обчислені за допомогою методик Борнгардта, Моннерота-Думайна та

Metropolitan Life значення ІдМТ найближені до значень фактичної маси тіла та обрані вірно, що підтверджувалось даними кореляційного аналізу (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати кореляційного аналізу різних методик розрахунку ІдМТ із значеннями фактичної маси тіла

Метод розрахунку ІдМТ	W	ρ
ІдМТ Борнгардта	26,19	0,870
ІдМТ Креффа	24,18	0,836
ІдМТ Моннерота–Думайна	26,21	0,832
ІдМТ Metropolitan Life	34,05	0,881

Відповідно до етапу 3 далі розраховували індекс WHR та показник скелетно-м'язової маси тіла (СМТ). Оцінку значущості відмінностей між показниками групи 1 та 2 виконували за допомогою U-статистики Манна-Уїтні (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Результати оцінки відмінностей між групами 1 та 2 за показниками WHR та СММ

Показник	Me [Q1; Q3]		Значущість, p
	Група 1	Група 2	
WHR	0,74 [0,72; 0,86]	0,86 [0,78; 0,95]	0,046
СМТ	28,9 [26,4; 32,8]	34,85 [31,4; 35,6]	0,032

З наведених результатів можна бачити, що особи в групах 1 та 2 мають достовірні відмінності на рівні значущості $p=0,05$ за показниками WHR та СММ.

Далі відповідно до етапів 4-8 розробленого методу було визначено показники компонентного складу тіла (табл. 3.5 та 3.6) для осіб чоловічої та

жіночої статі. Достовірність різниці між результатами визначали з використанням U-статистики Манна-Уїтні [43].

Таблиця 3.5 – Порівняння значень основних показників компонентного складу тіла осіб жіночої статі в групах з умовно нормальною та надлишковою масою тіла

Показник	Маса тіла, кг	ЖМТ, %	ЗКР, %	ХМТ,%	Активна клітинна маса тіла, %
Група 1 (n=8)					
Me	58,52	23,71	53,38	38,08	28,50
Q1	46,80	7,40	41,00	21,60	24,70
Q3	66,10	32,10	62,00	45,80	32,40
Група 2 (n=7)					
Me	65,65	33,88	43,53	32,20	32,15
Q1	43,00	17,10	32,10	25,52	21,07
Q3	86,80	41,80	48,10	35,20	41,53
Значущість, р	>0,05	0,037	0,045	>0,05	0,032

У групі жінок відмінності на рівні значущості $p=0,05$ було виявлено за показниками жирової маси тіла, загальної кількості рідини та активної клітинної маси тіла. Також, аналіз виявив, що за відсотковим значенням худой маси тіла та загальною масою тіла значення порівнюваних груп мало відрізнялися. У зв'язку з чим можна припустити, що поява достовірної різниці по активній клітинній масі тіла зумовлена низькими значеннями жирової маси тіла та нормальним значенням загальної кількості рідини, що характерно для особливостей нормального розвитку осіб жіночої статі групи 1.

Таблиця 3.6 – Порівняння значень основних показників компонентного складу тіла осіб чоловічої статті в групах з умовно нормальною та надлишковою масою тіла

Показник	Маса тіла, кг	ЖМТ, %	ЗКР, %	ХМТ, %	Активна клітинна маса тіла, %
Група 1 (n=12)					
Me	62,34	20,45	59,06	30,38	27,07
Q1	56,20	15,40	48,25	27,44	23,87
Q3	96,80	29,10	67,15	47,04	36,84
Група 2 (n=7)					
Me	75,25	26,45	43,53	36,84	22,84
Q1	54,60	20,90	42,20	31,75	20,63
Q3	102,50	38,20	58,50	49,08	35,34
Значущість, p	>0,05	0,046	0,042	0,037	0,046

У групі чоловіків відмінності на рівні значущості $p=0,05$ проявились за показниками жирової маси тіла, загальної кількості рідини, худой маси тіла та активної клітинної маси тіла. Також, аналіз виявив, що за загальною масою тіла значення порівнюваних груп мало відрізнялися.

На останньому етапі методу розраховувались значення основного обміну на загальному, тканинному та клітинному рівнях. Отримані середні значення наведені у таблиці 3.7

Для оцінки точності та якості розробленого метода було проведено порівняння результатів основних показників за відомою трьох компонентною моделлю, стандартним методом біоімпедансного аналізу складу тіла та розробленим методом. Результати порівняння наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.7 – Порівняння значень основного обміну на загальному, тканинному та клітинному рівнях

Показник	Me [Q1; Q3]		Значущість, р
	Група 1	Група 2	
ОО _з , кДж/добу	7048 [6833; 7342]	6260 [5694; 7058]	0,039
ОО _т , кДж/добу	4403 [3929; 5045]	4713 [2917; 5385]	>0,05
ОО _к , кДж/добу	1026 [961; 1393]	996 [960; 1410]	>0,05

Таблиця 3.8 – Результати порівняння розробленого метода та метода-прототипу

Показник	Трикомпонентна модель		Метод-прототип (біоімпедансметрія)		Розроблений метод	
	Група 1	Група 2	Група 1	Група 2	Група 1	Група 2
ЖМТ, %	19 [17; 30]	20 [18; 36]	20 [16; 32]	26 [19; 39]	23,71 [17,60; 30,06]	25,20 [20,90; 38,20]
ЗКР, %	-	-	40 [38; 56]	29 [24; 36]	43,53 [42,20; 58,50]	26,07 [23,87; 36,84]
Клітинна маса тіла, %	-	-	29 [27; 45]	31 [20; 42]	30,16 [28,40; 46,06]	32,15 [21,07; 41,53]
R _в , Ом	-	-	189±6,2	178±6,7	189±3,8	192±5,2
R _к , Ом	-	-	96±4,8	90±3,6	94,5±3,3	83±4,9

Із наведених результатів можна побачити, що збільшення кількості жирової тканини в організмі супроводжується зменшенням частки худой (безжирової) маси та окремих її складових (клітинної маси, водного компонента).

Біоімпедансний аналіз тканинних компонентів за відсотковим вмістом в організмі, а не за абсолютними числами видається більш доцільним внаслідок суттєвої різниці в масі тіла групи 1 та 2. При такому підході вікова динаміка відносної м'язової маси має дещо інший характер, ніж абсолютні показники, що

характеризуються поступовим зменшенням відсоткового вмісту скелетної мускулатури у осіб із надлишковою масою тіла.

Загальна точність розробленого метода покращена на 3,12% відносно метода прототипу.

3.2 Розробка структурної схеми біотехнічної системи визначення складу тіла людини

Для реалізації запропонованого метода була запропонована біотехнічна система визначення складу тіла людини, структурна схема якої наведена на рисунку 3.2.

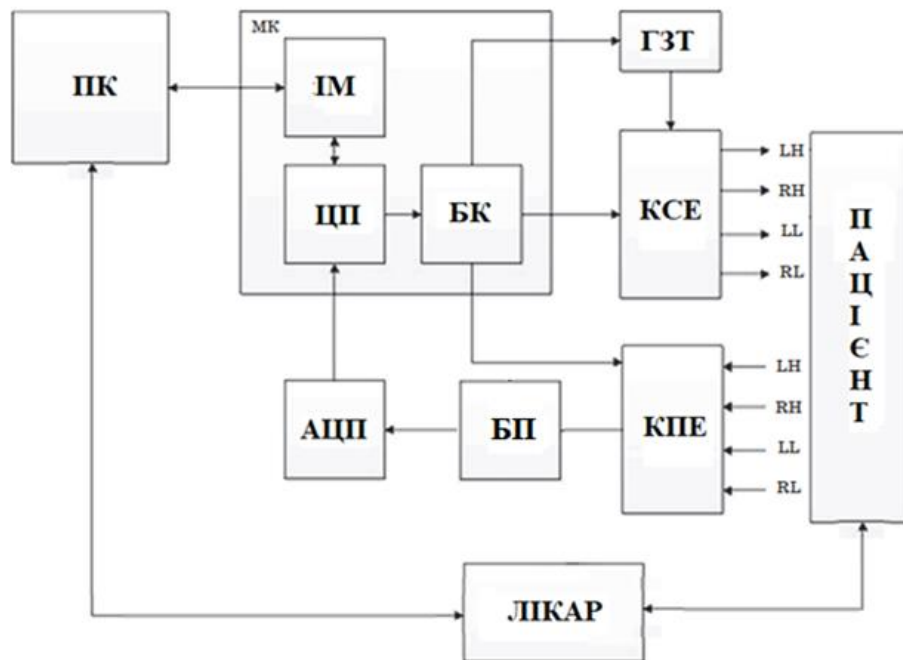


Рис. 3.2. Структурна схема біотехнічної системи визначення складу тіла людини

Біотехнічна система включає в себе дві підсистеми – біологічну та технічну. Біологічна підсистема включає в себе лікаря та пацієнта. Технічна підсистема

представляє собою об'єднання апаратної та програмної складової, а саме персональний комп'ютер (ПК) та апарат для біоімпедансометрії.

В якості апарату для біоімпедансометрії пропонується використовувати біоімпедансний аналізатор по типу «АВС-01 Медас» [44], який дозволяє проводити вимірювання за сегментарною методикою на двох, або трьох частотах, зберігати та обробляти дані експерименту, експортувати результати вимірювань та висновок у зовнішні програми та глобальний рівень програмного забезпечення за допомогою спеціально розробленого REST API.

Основними блоками апаратної складової є генератор зондувального струму (ГЗТ), блоку керування (БК), комутатор струмових електродів (КСЕ), комутатор потенціальних електродів (КПЕ), мікроконтролер (МК), блок підсилювача та синхронного детектора (БП), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), та центральний процесор (ЦП).

Перші дві зондуючі частоти обрані за такими критеріями: частота 28 кГц – близька до оптимальної частоти реєстрації пульсової хвилі в тканинах сегментів тулуба; частота 115 кГц – близька до оптимальної частота реєстрації реограми мозку.

Для більш точної оцінки величини опору внутрішньоклітинної рідини та загальної рідини в тілі людини пропонується вимірювання імпедансу тіла на третій частоті зондувального струму:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1 = \frac{R_B \sqrt{R_K^2 + x_C^2}}{\sqrt{(R_B + R_K)^2 + x_C^2}} \\ Z_2 = \frac{R_B \sqrt{R_K^2 + x_{C2}^2}}{\sqrt{(R_B + R_K)^2 + x_{C2}^2}} = \frac{R_B \sqrt{R_K^2 + (\frac{1}{k_2} x_C)^2}}{\sqrt{(R_B + R_K)^2 + (\frac{1}{k_2} x_C)^2}} \\ Z_3 = \frac{R_B \sqrt{R_K^2 + x_{C3}^2}}{\sqrt{(R_B + R_K)^2 + x_{C3}^2}} = \frac{R_B \sqrt{R_K^2 + (\frac{1}{k_3} x_C)^2}}{\sqrt{(R_B + R_K)^2 + (\frac{1}{k_3} x_C)^2}} \end{array} \right. , \quad (3.1)$$

де Z_1, Z_2 – виміряні імпеданси на двох частотах за загальною методикою ІдМ;

Z_3 – вимірний імпеданс на третій частоті;

R_B і R_K – опір позаклітинної та внутрішньоклітинної рідин відповідно (сума опорів дає значення активного опору);

X_C – еквівалентний опір клітинної мембрани (значення реактивного опору).

Вибір третьої частоти зондувального струму в загальному випадку може бути будь-яким, але на практиці вона може бути обрана, виходячи із завдання досягнення оптимізації похибок вимірювань згідно з наступним відомим критерієм: похибка обчислення R_K повинна бути меншою від методичної похибки вимірювання об'єму рідини біоімпедансними методами.

З метою вибору третьої частоти зондувального струму було проведено моделювання амплітудно-частотної характеристики трикомпонентної схеми, що досліджується, у програмі Micro-Cap з наступними вихідними даними: $R_B = 200$ Ом, $R_K = 50 \dots 300$ Ом із кроком 50 Ом, $C_1 = 1 \dots 7$ нФ (очікуваний діапазон зміни еквівалентної ємності клітинної мембрани у реальних пацієнтів) з кроком 1 нФ. Результати моделювання наведено на рисунку 3.3.

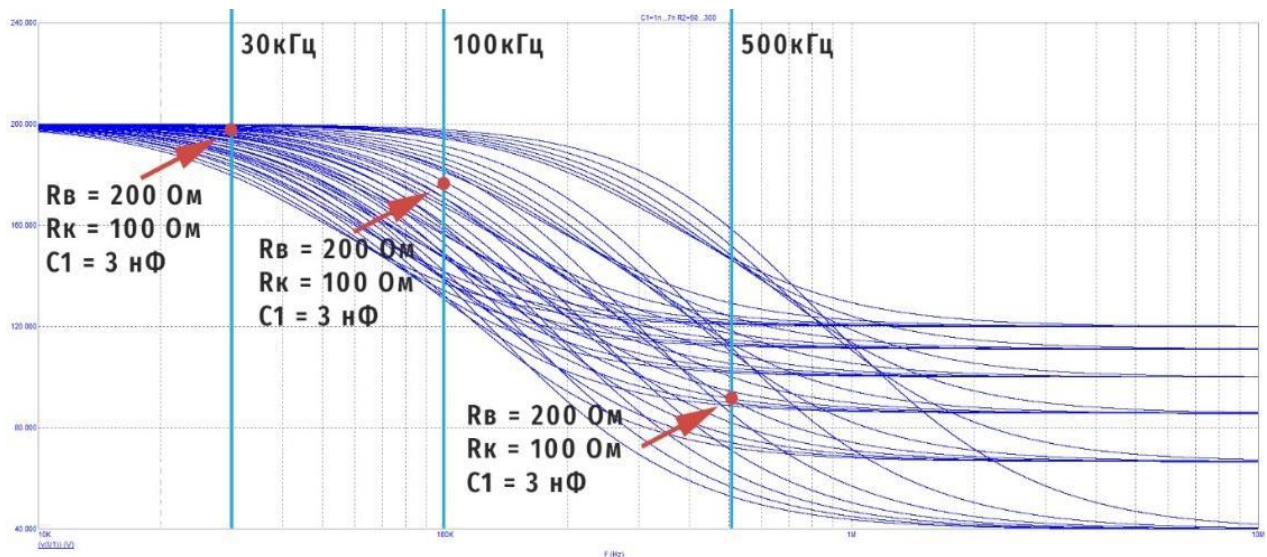


Рис. 3.3. Результати моделювання АЧХ для трикомпонентної моделі

За результатами моделювання як третя зондувальна частота була прийнята частота в 460 кГц.

Головною особливістю апаратної частини аналізатора складу тіла людини є впровадження блоків комутаторів струмових та потенційних електродів (КСЕ та КПЕ), що забезпечують перемикання відведень для вимірювання імпедансів сегментів тіла людини.

Електричну схему будови тіла людини для тричастотного сегментарного метода наведено на рисунку 3.4.

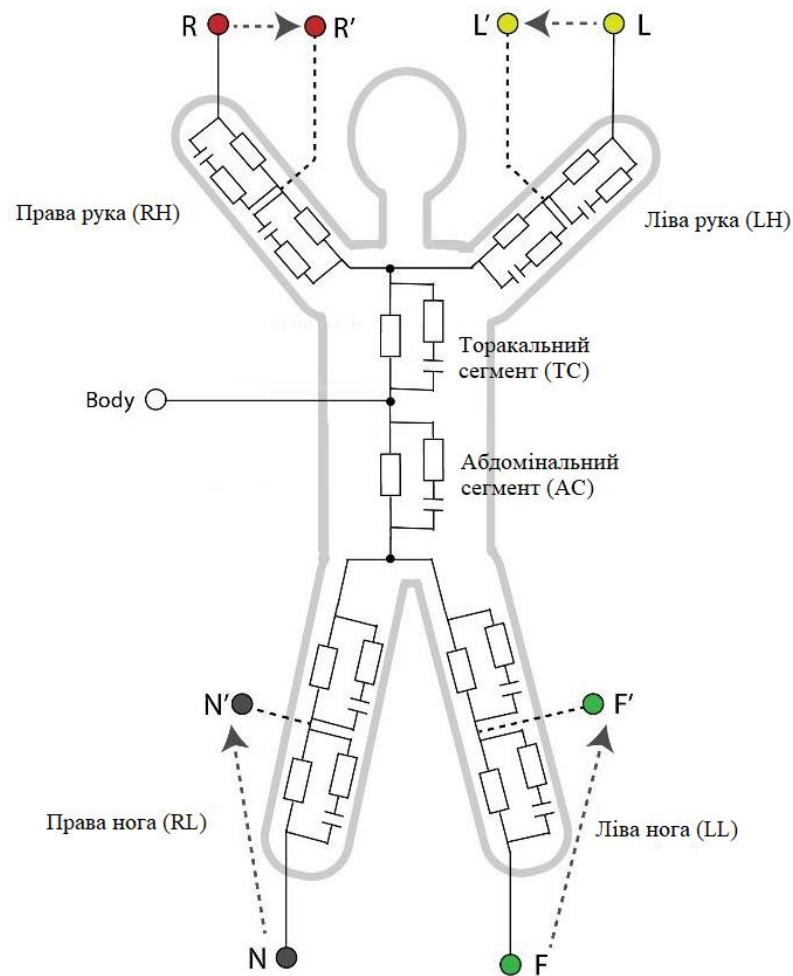


Рис. 3.4. Електрична аналогія будови тіла людини для тричастотного сегментарного метода біоімпедансометрії

У загальному випадку така модель має п'ятиланкову структуру, однак, вона може бути перетворена на шестиланкову при вимірюванні імпедансів абдомінального та торакального сегментів з використанням додаткового електрода (Body) на тулуб обстежуваного. Також, до переваг такої моделі можна віднести можливість використання стандартної тетраполярної системи (рис. 3.5) з наступним алгоритмом відновлення об'ємно-масових показників складу тіла людини:

- розрахунок форми поздовжнього зрізу сегмента методом математичної інтерполяції;
- оцінка площі поперечного перерізу сегмента кожному кроці інтерполяції;
- виділення значущих для фізичної моделі підсегментів з їхньою фізіологічною прив'язкою до результатів інтерполяції;
- оцінка обсягу сегмента та його значних підсегментів;
- оцінка маси сегмента та його значних підсегментів.

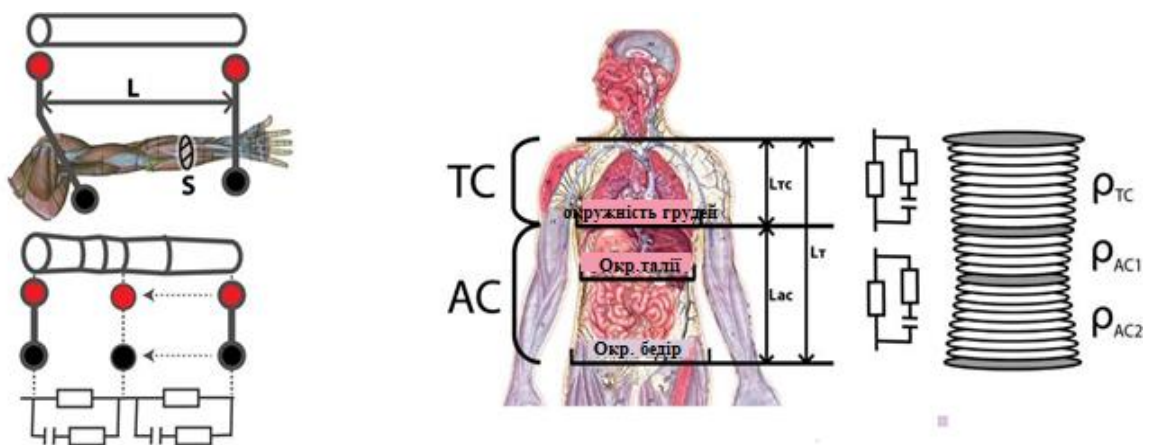


Рис. 3.5. Тетраполярна система відведень

Загальний процес проведення дослідження за допомогою запропонованої біотехнічної системи можна представити наступним чином (рис. 3.6).

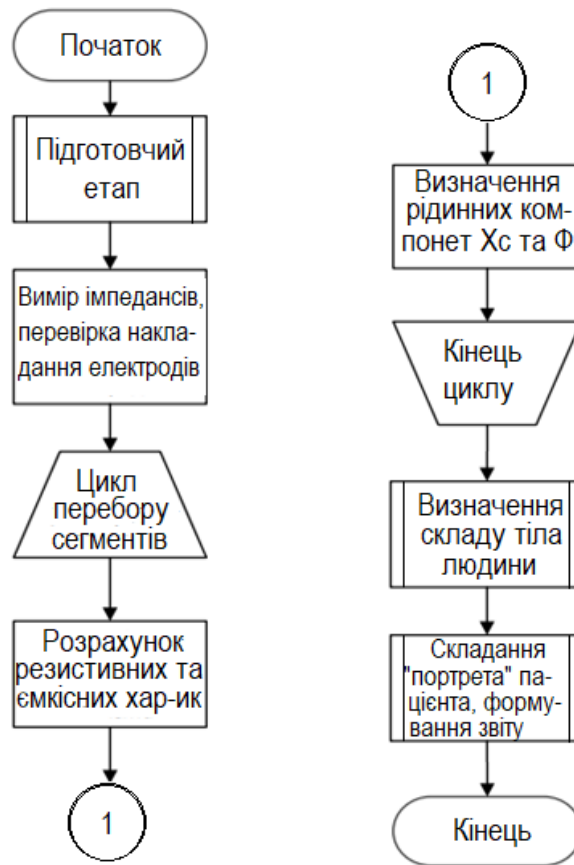


Рис. 3.6. Процес проведення дослідження з використання біотехнічної системи визначення складу тіла людини

1) Під час попереднього огляду лікар фіксує основні антропометричні параметри: ріст, окружності зап'ястя, грудей, талії, стегон та окремого стегна.

2) Лікар накладає стрічкові електроди на пацієнта за однією із запропонованих схем та включає біоімпедансний аналізатор і виконує вимірювання імпедансометричних даних.

Під час цього в аналізаторі генератор зондувального струму ГЗТ за командою блоку керування БК генерує струм на частотах 28 кГц, 115 та 460 кГц, передає його через КСЕ на струмові електроди, змінює частоту зондувального струму сигналом від блоку управління мікроконтролера МК. Вимірювальний

сигнал через блок підсилювача та синхронного детектора БП та АЦП передається в мікроконтролер для первинної обробки сигналу та подальшої його передачі на персональний комп'ютер ПК.

3) Лікар вносить в ПК необхідні антропометричні дані.

4) На базі отриманої з аналізатора інформації далі виконується попереднє визначення показників, які будуть брати участь у визначенні складу тіла людини.

5) Проводиться оцінка складу тіла за розробленим методом.

6) На останньому етапі формується загальний портрет пацієнта та визначаються відхилення від норми основних показників.

Кроки 2, 4, 5, 6 виробляються в автоматизованому режимі, а етапи 1 та 3 виконуються вручну лікарем на початку відвідування або під час використання будь-якого методу біоімпедансного аналізу складу тіла.

Таким чином, отримані результати дозволяють оцінити напрями змін компонентного складу тіла в організмі людини під впливом різних факторів. Дослідження співвідношень компонентного складу тіла із застосуванням розробленого метода дозволяє уточнити фізіологічний зміст відмінностей по локальним показникам між різними групами, оцінити їх індивідуальні результати та намітити, у разі потреби, напрями для корекції та покращення цих показників, важливих для оцінки соматичного здоров'я людини.

Описані результати експериментальної перевірки методу є елементами загального підходу, який може бути використаний для оцінки морфофункціонального стану організму людини.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ

4.1. Загальні методичні положення створення програмного забезпечення визначення складу тіла людини

Аналіз існуючих світових розробок дозволяє оцінити повноту застосування інформаційних технологій (ІТ) і розробити методику створення і використання комп'ютерних програм (КП) у медицині, в чому чимала заслуга належить біомедичному інженеру.

На етапі постановки задачі для розробки КП визначаються мета, зміст та завдання, які будуть досягатися за допомогою застосування КП медичним персоналом. Необхідно розділити мету та завдання на підрозділи – з визначенням їх ієрархії, характеру взаємозв'язку, здійснюючи їх контроль і коректування. Спрямованість окремих завдань, які крок за кроком ведуть до кінцевої мети, реалізуються через діагностичний або лікувальний процес.

При створенні КП необхідно окрім загальної складової передбачити і соціальні особливості тієї групи людей, для якої ця програма призначається, а також технічні можливості для реалізації задуманого (рис. 4.1).

Враховуючи все це, біомедичний інженер – самостійно створює ескізний варіант КП за таким алгоритмом.

1) Визначає необхідність створення КП за конкретним технічним завданням.

2) Оцінює ринок існуючих аналогів та визначає слабкі місця у розробках, що існують.

3) Формулює мету, яка повинна бути досягнутою при роботі з цією програмою, і припускає можливий ефект її використання в системі охорони здоров'я.



Рис. 4.1. Загальні компоненти положення про створення комп'ютерної програми

- 4) Визначає початковий рівень знань користувачів.
- 5) Готує користувача до роботи із розробленою КП (розробляє інструкцію користувача, провидить тренінги, тощо).
- 6) Визначає структуру програми і зміст окремих її елементів.
- 7) Враховує оптимальний зворотний зв'язок (контроль, корекцію) і загальну оцінку роботи з програмою.
- 8) Презентує сценарій (ескізний варіант) КП, доступний для реалізації на відповідній платформі.

На наступному етапі в роботу включаються програміст і лікар – як експерт. Проектування сценарію КП має велике значення в технології її розробки і зводиться до створення макроструктури діалогу користувача з системою. На

цьому етапі розробляються тексти діалогів і конструюються екрани з використанням логічного підходу.

Реалізація сценарію КП означає введення в пам'ять комп'ютера розробленого сценарію і його налаштування.

Апробація КП у діагностичному або лікувальному процесі припускає проведення його експертизи і, якщо необхідно, корекції; розробку карти ризиків, яка сприятиме недопущенню особливо критичних помилок при підготовці КП.

Працюючи над створенням складних КП (в першу чергу, стосується МІС), необхідно розробити пам'ятки для вирішення деяких специфічних проблем, з якими користувачі можуть зіткнутися в процесі роботи з програмою. До таких проблем відносяться, наприклад, втрата орієнтації при роботі в гіпертекстових програмах, відсутність обліку загальних закономірностей прогнозування і знаходження технологічних меж.

Для зменшення можливості втрати орієнтації при роботі в гіпертекстових програмах використовується:

- методи фільтрації матеріалу;
- можливість установки індивідуального алгоритму перед початком або під час роботи з програмою;
- використання закладок, які дозволяють повернутися у відзначене місце при наступному зверненні до програми;
- використання методів штучного інтелекту.

Технологічна межа є ключовим розділом прогнозування наукових розробок, динаміки станів тощо. Граничні стани – невід'ємна частина ділового і особистого життя. Наближаючись до межі, необхідно змінити напрям руху, - і чим раніше, тим краще, інакше будуть неадекватні витрати. Здатність розпізнати межу має вирішальне значення при визначенні успіху або невдачі роботи з КП, бо межа — найнадійніший ключ до виявлення моменту використання нової технології.

Створення КІ нового покоління з використанням систем штучного інтелекту, експертних систем може зайти в тупик, якщо при підготовці програм не враховуватимуться загальні закономірності прогнозування і теорія технологічних меж.

На рисунку 4.2 представлено загальну структурну схему технології реалізації програмної складової біотехнічної системи визначення складу тіла людини.

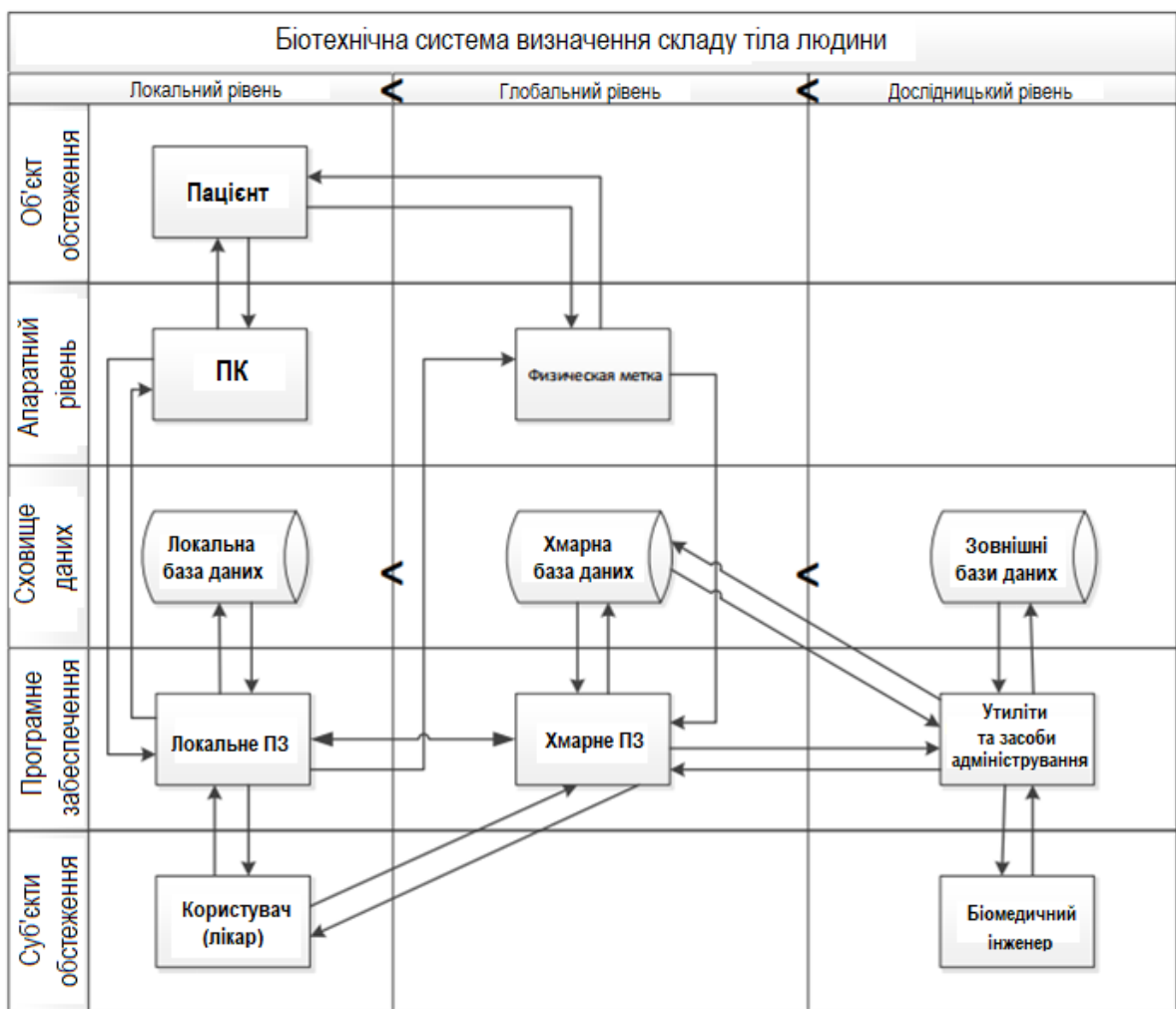


Рис. 4.2. Структура технології реалізації програмної складової біотехнічної системи визначення складу тіла людини

Ця схема розділена на такі сегменти за технологічними рівнями:

1) апаратний рівень. Містить у собі спеціально існуюче апаратне забезпечення: персональні комп'ютери, серверне обладнання, принтери, мережеве та інше допоміжне обладнання;

2) рівень сховища даних. Включає всі використовувані бази даних, у тому числі можливе під'єднання зовнішніх;

3) рівень програмного забезпечення. За рівнем узагальнення інформації виділено такі рівні:

- локальний рівень. Характеризує робоче місце лікаря-діагноста. Включає безпосередньо біоімпедансметр і персональний комп'ютер із спеціалізованим ПЗ та мережним доступом;

- глобальний рівень. Включає як хмарну версію програмного забезпечення для оцінки складу тіла людини, так і загальне сховище даних, модуль обробки, класифікації та верифікації даних, засоби телемедицини, систему оновлення локального програмного забезпечення, систему експорту даних у зовнішні системи;

- дослідницький рівень. Поєднує в собі всі можливі інструменти дослідника для проведення біоімпедансних досліджень та формування способів класифікації різних груп пацієнтів із різноманітними діагнозами.

Крім цих рівнів, на схемі також зображені пацієнт, лікар і біомедичний інженер як частина біотехнічної системи. Така структура забезпечує варіативність вихідних параметрів методу, дозволяє проводити нові дослідження, негайно інтегруючи нові результати роботи на глобальному рівні системи, що розробляється.

4.2 Розробка архітектури оболонки програмного застосунку визначення складу тіла людини

В основі проектування програмного застосунку визначення складу тіла людини лежить три ланкова архітектура «клієнт-сервер».

Вона реалізується на основі моделі сервера додатків, де мережний додаток розділений на дві і більше частин, кожна з яких може виконуватися на окремому комп'ютері [45].

Основними перевагами архітектури «клієнт-сервер» є:

- можливість, як правило, розподілити функції обчислювальної системи між кількома незалежними комп'ютерами в мережі. Це дозволяє спростити обслуговування обчислювальної системи. Зокрема, заміна, ремонт, модернізація чи переміщення сервера не зачіпають клієнтів;

- всі дані зберігаються на сервері, який, як правило, захищений набагато краще за більшість клієнтів. На сервері простіше забезпечити контроль повноважень, щоб дозволити доступ до даних лише клієнтам із відповідними правами доступу;

- дозволяє об'єднати різні клієнти. Використовувати ресурси одного сервера часто-густо можуть клієнти з різними апаратними платформами, операційними системами тощо.

Архітектура клієнтської частини представлена на рисунку 4.3.

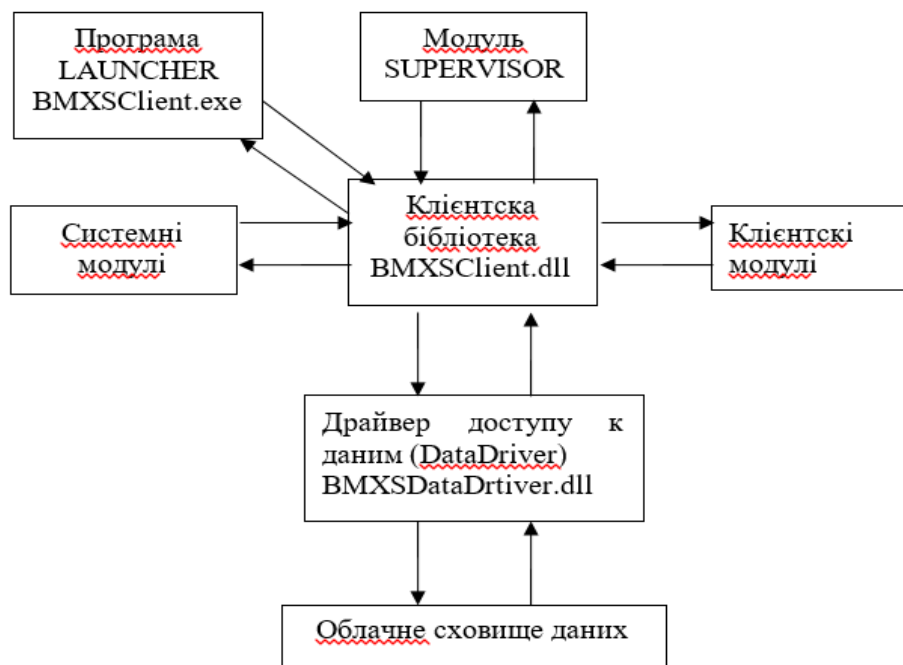


Рис. 4.3. Архітектура клієнтської частини BMXS

Клієнтська бібліотека `BMXSClient.dll` – бібліотека, що містить базові функції платформи, лінківку бібліотек з пам'яті, взаємодію зі сховищем даних, забезпечення міжмодульної взаємодії.

Драйвер доступу до даних (DataDriver) `BMXSDataDriver.dll` – бібліотека, що надає інтерфейс взаємодії зі сховищем даних, винесений на окрему одиницю, тому що фізичне сховище даних може бути різним.

Для сумісності `BMXSClient.dll` з ним не потрібно буде вносити зміни до бібліотеки, достатньо підібрати відповідний DataDriver. Модуль SUPERVISOR – модуль, що виконує роль «операційної системи», здійснює високорівневе управління системою та взаємодію з користувачем.

Програма LAUNCHER (`BMXSClient.exe`) – програма, що стартує роботу клієнта і обробляє низькорівневі повідомлення від нього.

Системні модулі – бінарні бібліотеки, необхідні для функціонування клієнта (аналогічно іншим об'єктам, зберігаються у сховище даних). Схема взаємодії системних модулів представлена на рисунку 4.4.

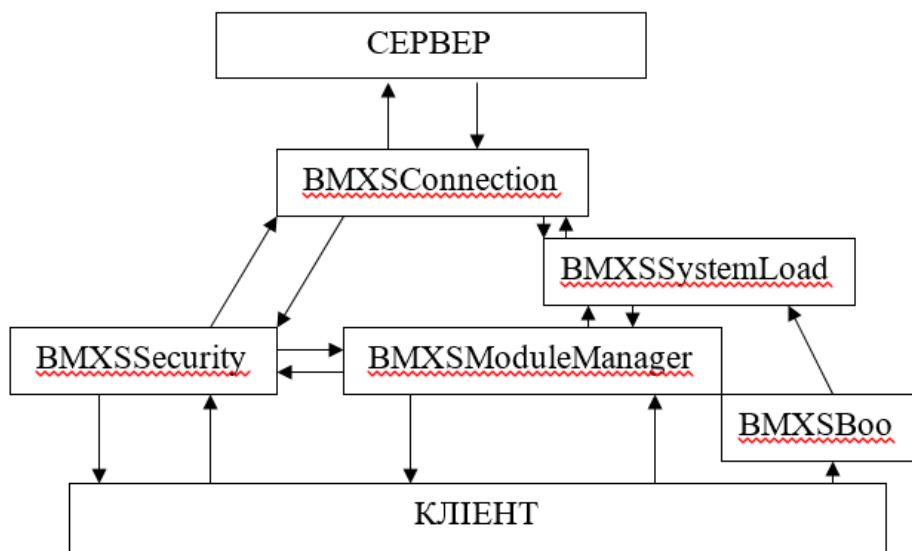


Рис. 4.4 – Схема взаємодії системних модулів сховища даних

BMXSBoot – модуль, який виконує завантаження інших модулів під час старту системи.

BMXSSystemLoader – об'єкт, який виконує синхронізацію даних на клієнті з сервером.

BMXSConnection – об'єкт, що забезпечує з'єднання з сервером та пересилання бінарних даних.

BMXSSecurity – об'єкт, що надає API для стиснення хешування, шифрування, генерації ключів, сертифікатів.

BMXSModuleManager – об'єкт виконує низькорівневе керування модулями на рівні між BMXSClient.dll та SUPERVISOR'ом.

Клієнтські модулі – об'єкти, що завантажуються з сервера. Структура серверної частини наведена на рисунку 4.5.

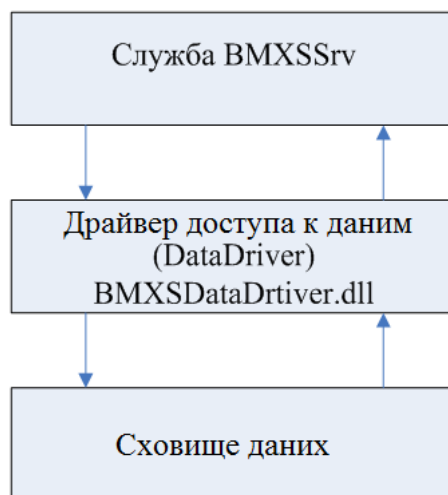


Рис. 4.5. Структура серверної частини програмного застосунку визначення складу тіла людини

Служба BMXSSrv – служба, що обробляє клієнтські запити. Драйвер доступу до даних BMXSDataDrtiver.dll використовується і в клієнтській, і серверній частині.

Сховище даних дозволяє зберігати дані за допомогою механізму десктопів (десктоп – поле даних, що зберігається в системі, може бути числом, рядком, прапором, датою, типом реєстру Windows) та строго типізованих пасивних бінарних об'єктів.

4.3 Вибір мови програмування для реалізації локального рівня біотехнічної системи визначення складу тіла людини

В якості платформи для реалізації локального рівня біотехнічної системи визначення складу тіла людини пропонується взяти платформу .NET, тому що на даний момент вона є однією з розповсюджених і передових технологій для розробки під Windows і не тільки. Основним є те, що .NET дозволяє реалізувати об'єктно-орієнтований підхід до проектування, який було зазначено в завданні на кваліфікаційну роботу [46].

.NET має також і інший ряд переваг:

- потужний інструментарій – бібліотека базових класів, що поставляється разом із середовищем, володіє достатнім функціоналом для вирішення завдань практично будь-якої складності;
- поділ коду – в .NET спосіб поділу коду між програмами значно відрізняється від попередніх реалізацій за рахунок використання збірок. Складання мають формальні засоби для управління версіями і допускають одночасне існування рядом декількох різних версій збірок;
- підтримка мов високого рівня – це властивість сприятливо позначається у зручності використання, швидкості написання і читабельності коду, що дуже важливо задля подальшої підтримки програми.

Платформа .NET входить до сучасного середовища розробки Visual Studio, яке надає необхідний інструментарій для ефективного та швидкого створення програм з графічним інтерфейсом.

А для реалізації алгоритмів Microsoft вирішили запропонувати розробникам альтернативу – мову, орієнтована спеціально на .NET і створили свого часу C# та Java, що дозволило програмістам за досить короткий час вивчити тонкощі нової мови.

Незважаючи на те, що C# і .NET призначені в першу чергу для веб-розробки, їх також активно застосовують для створення додатків, які повинні встановлюватися на машині кінцевого користувача (клієнтські частини), де і виконуватиметься вся обробка даних. Розробку таких програм забезпечує бібліотека Windows Forms, що дозволяє проектувати графічний інтерфейс. До основних переваг мови C# можна віднести наступне:

- мова програмування C# претендує на справжню об'єктну орієнтованість;
- мова програмування C# покликана реалізувати компонентно-орієнтований підхід до програмування, який сприяє меншій машинно-архітектурній залежності результуючого програмного коду, більшій гнучкості та легкості повторного використання програм;
- важливою відмінністю від інших мов є початкова орієнтація на безпеку коду;
- розширена підтримка подієво-орієнтованого програмування;
- мова програмування C# є «рідною» для створення додатків у середовищі Microsoft .NET, оскільки найбільш тісно та ефективно інтегрована з нею.

Крім того платформа NET дозволяє використовувати інструментарій Windows Forms – інтерфейс програмування додатків (API), який відповідає за графічний інтерфейс користувача і є частиною Microsoft .NET Framework. Цей інтерфейс спрощує доступ до елементів інтерфейсу Microsoft Windows. Перевагою і те, що керований код - класи, що реалізують API для Windows Forms, залежить від мови розробки. Тобто програміст однаково може використовувати Windows Forms як при написанні на C#, так і на VB.Net, J# тощо.

Таким чином, програмне забезпечення локального рівня буде реалізовано на платформі .NET Framework мовою C# [47]. Окремі проекти рішення написані мовою Visual C++.

4.4 Програмна реалізація локального рівня забезпечення біотехнічної системи визначення складу тіла людини

Робота з програмою почнеться з відображення головного меню програми та дисків комп'ютера у дереві папок. Далі ми зможемо вибрати на який диск зайти і спокійно вибирати в яку папку хочемо зайти, і який файл ми хочемо використовувати.

У головному меню програми буде відображено основні функції програми для роботи: База даних, Дослідження, Звіт, Вихід.

Також у програмі буде реалізовано шаблон програмування Composite до створення деревоподібної структури між об'єктами класу.

Програма складатиметься із 4 форм, включаючи головну. А саме:

- головна форма;
- форма «Form2» – для визначення рідинного складу тіла людини за результатами біоімпедансметрії;
- форма "Form3" – для визначення водного балансу за результатами біоімпедансметрії;
- форма "Form4" – для визначення основних показників складу тіла людини.

Головна форма має такі компоненти як: MenuStrip, TreeView, ListView. MenuStrip використовується для вибору функцій та дій над файлами та папками. TreeView використовується для відображення дерева папок комп'ютера. ListView використовується для відображення файлів у вибраній папці.

Form2 та Form3 містить TextBox для введення інформації та Button для підтвердження дій.

Під час розробки програми вікна ««Form2»» використовувалися такі компоненти:

- MenuStrip – компонент призначений для створення системи меню для форми Windows;
- TextBox – компонент призначений для введення інформації;
- Button - компонент є елементом керування «Кнопка». У разі використовувався для запуску процесів реалізації метода;
- Label - компонент є стандартною міткою Windows для створення текстових пояснень;
- ListView – компонент призначений для відображення файлів у вибраній папці.

Результат розробки наведено на рисунку 4.6.

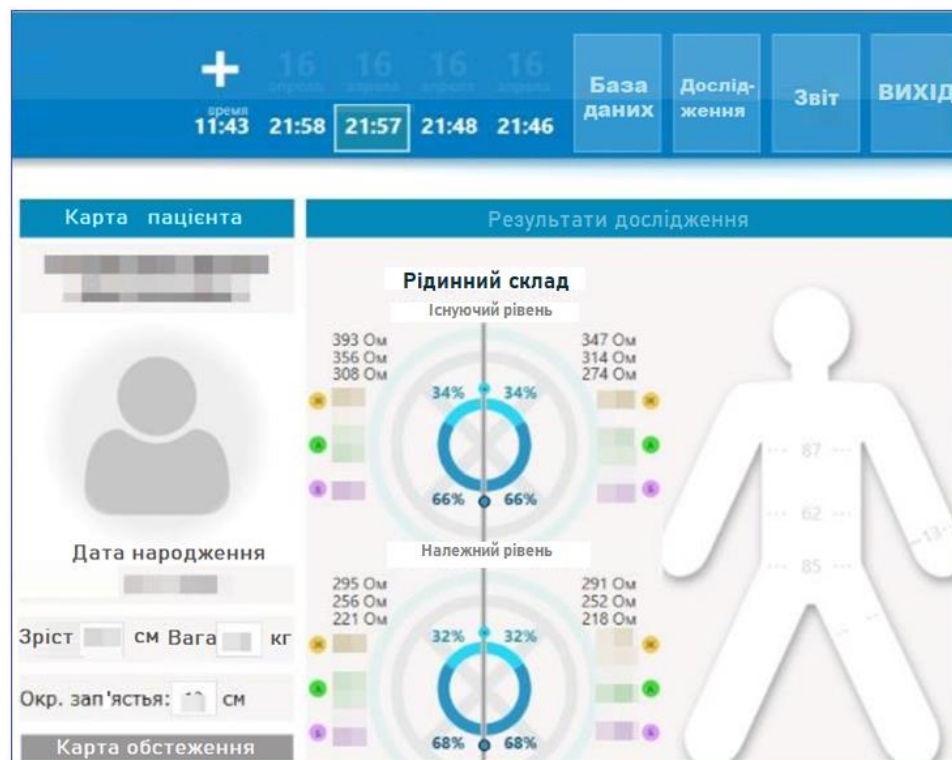


Рис. 4.6. Діалогове вікно визначення рідинного складу тіла людини за результатами біоімпедансметрії

Для відображення результатів визначення рідинного складу тіла людини за результатами біоімпедансметрії використали наступний програмний каркас.

```
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        // Припустимі дані від біоімпедансметра (приклад)
        double resistance = N; // Опір (Resistance) в омагах
        double reactance = M; // Реактивний опір (Reactance) в омагах
        double height = L; // Зріст в сантиметрах
        double weight = W; // Вага в кілограмах
        int age = A; // Вік
        // Виклик функції для визначення рідинного складу тіла
        BodyCompositionResult result = CalculateBodyComposition(resistance, reactance,
height, weight, age);
        // Виведення результатів
        Console.WriteLine("Результати аналізу складу тіла:");
        Console.WriteLine($"Відсоток води: {result.WaterPercentage}%");
        Console.WriteLine($"М'язова маса: {result.MuscleMass} кг");
        Console.WriteLine($"Жирова маса: {result.FatMass} кг");
    }
    static BodyCompositionResult CalculateBodyComposition(double resistance, double
reactance, double height, double weight, int age)
    {
        double waterPercentage = 60.0;
        double muscleMass = 55.0;
        double fatMass = 15.0;
        // Створення об'єкта для збереження результатів
        BodyCompositionResult result = new BodyCompositionResult
        {
            WaterPercentage = waterPercentage,
            MuscleMass = muscleMass,
            FatMass = fatMass
        };
        return result;
    }
}
class BodyCompositionResult
{
    public double WaterPercentage { get; set; }
    public double MuscleMass { get; set; }
    public double FatMass { get; set; }
}
```

Для визначення водного балансу за результатами біоімпедансметрії було розроблено форму, загальний вид якої наведено на рисунку 4.7.

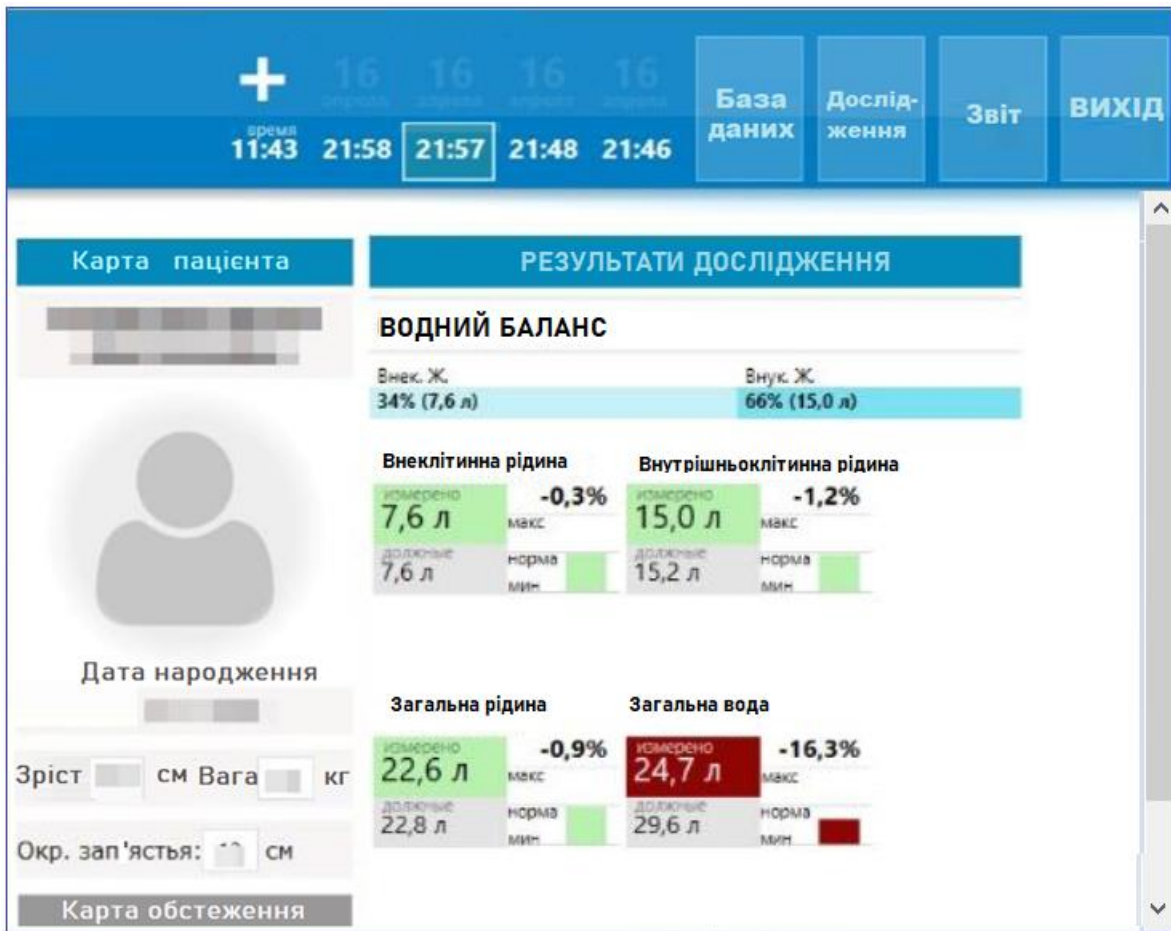


Рис. 4.7. Діалогове вікно визначення водного балансу за результатами біоімпедансметрії

Під час розробки програми вікна ««Form3»» використовувалися такі компоненти:

- TextBox – компонент призначений для введення інформації;
- Button - компонент є елементом керування «Кнопка»;
- Label - компонент є стандартною міткою Windows для створення текстових пояснень;
- ListView – компонент призначений для відображення файлів у вибраній папці.

Для визначення внутрішньоклітинної рідини та внеклітинної рідини було написано процедуру CalculateFluidBalance, текст якої наведено нижче.

```

static FluidBalanceResult CalculateFluidBalance(double resistance, double reactance,
double height, double weight, int age)
{
    double intracellularFluidPercentage = 40.0; // відсоток внутрішньоклітинкової рідини
    double extracellularFluidPercentage = 60.0; // відсоток позаклітинкової рідини
    double totalBodyWater = 42.0; // загальний об'єм води в організмі
    // Розрахунок об'ємів рідин
    double intracellularFluid = totalBodyWater * (intracellularFluidPercentage / 100.0);
    double extracellularFluid = totalBodyWater * (extracellularFluidPercentage / 100.0);
    // Створення об'єкта для збереження результатів
    FluidBalanceResult result = new FluidBalanceResult
    {
        IntracellularFluid = intracellularFluid,
        ExtracellularFluid = extracellularFluid
    };
    return result;
}
}
class FluidBalanceResult
{
    public double IntracellularFluid { get; set; }
    public double ExtracellularFluid { get; set; }
}

```

Основною формою для відображення є форма "Form4", яка призначена для відображення результатів визначення основних показників складу тіла людини за запропонованим методом. Основний текст програми наведено в додатку Е.

ПОКАЗНИК	ЗНАЧЕННЯ	НОРМА
Жирсва маса (КГ)	31,1	7 – 14
%ЖМТ	34,5	13 – 24
ХМТ (КГ)	60	43 – 66
Активна клітинна маса (КГ)	37,2	24 – 36
СММ (%)	49,9	51 – 56
Мінеральна маса (КГ)	3,26	2,74 – 3,59
Основний обмін (кДж/добу)	7501	6243 - 6830

Рис. 4.8. Діалогове вікно визначення основних показників складу тіла людини

Створений додаток можна повноцінно використовувати у медичній сфері. Окрім цього, гнучкість використаних патернів та підходів дозволяє розширити його можливості за потреби. Прикладом розширення може слугувати, наприклад, зміна формул розрахунку основних показників відповідно до нових досліджен.

ВИСНОВКИ

За останні 25 років еволюція вивчення складу тіла людини пройшла вражаючий шлях розвитку від використання класичних методів антропометрії та гідростатичного зважування до розробки та широкого впровадження складу тіла, що ґрунтуються на вимірі параметрів зовнішніх фізичних полів при їх взаємодії з організмом.

Детальне вивчення методів та засобів оцінки складу тіла показало, що на озброєнні у фахівців існує велика кількість методів оцінки компонентного складу тіла людини. При цьому з розвитком науки і технологій кількість нових розробок має тенденцію до постійного збільшення. Виходячи з вищесказаного, стає очевидним, що у створених умовах досліднику дедалі складніше стає зорієнтуватися і вибрати метод та засіб, що найбільш повно відповідає потребам з визначення складу тіла. Тому виникає потреба у розробці універсального метода визначення складу тіла людини.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено метод визначення складу тіла людини. Розроблений метод базується на результатах каліперометрії, антропометрії та біоімпедансного аналізу, якій враховує індексне значення соматотипу людини за Хіттом і Картером і дозволяє підвищити точність розрахунку основних показників складу тіла людини та сприяє підвищенню якості лікувально-профілактичних заходів.

Була проведена експериментальна перевірка розробленого метода на двох групах обстежуваних (з умовно нормальною та надлишковою масою тіла). Порівняння вибірок даних за допомогою критерія Уїлкоксона виявило, що обчислені за допомогою методик Борнгардта, Моннерота-Думайна та страхової компанії Metropolitan Life значення ІдМТ наближені до значень фактичної маси тіла та обрані вірно, що підтверджувалось даними кореляційного аналізу ($p > 0,05$).

Дослідження співвідношень компонентного складу тіла із застосуванням розробленого метода дозволяє уточнити фізіологічний зміст відмінностей по локальним показникам між різними групами, оцінити їх індивідуальні результати та намітити, у разі потреби, напрями для корекції та покращення цих показників, важливих для оцінки соматичного здоров'я людини. Загальна точність метода була підвищена на 3,12 % відносно метода-прототипу.

Для реалізації запропонованого метода була запропонована біотехнічна система визначення складу тіла людини та розроблено програмний застосунок, який дозволяє автоматизувати процес визначення інтегральних і локальних параметрів складу тіла й основного обміну та покращити результати діагностики стану організму людини.

В якості архітектури оболонки програмного застосунку обрано три ланкова архітектура по типу «клієнт-сервер». В якості платформи для реалізації локального рівня біотехнічної системи визначення складу тіла людини запропоновано платформу .NET с реалізацією алгоритму програми на мові C#.

Створений програмний застосунок є гнучким та відкритим до розширення можливостей визначення складу тіла людини за різними методами на базі біоімпедансного аналізу.

Розроблений метод та засіб можуть бути використані у медичних та дослідницьких установах державної та приватної форм власності з метою морфофункціонального дослідження організму людини.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. *Основи здорового способу життя*: навч. посібник для студентів / уклад.: І. Ю. Карпюк, Т. К. Обезюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 419 с.
2. *Діагностика і моніторинг стану здоров'я*: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Н.В. Богдановська, М.В. Маліков, І.В. Кальонова. – Запоріжжя: ЗНУ, 2015. 264 с.
3. Fabio Butti, Basile Pache, Michael Winiker, Fabian Grass, Nicolas Demartines, Martin Hübner. Correlation of postoperative fluid balance and weight and their impact on outcomes. *Langenbeck's Archives of Surgery*. 2020; 405:1191–1200. <https://doi.org/10.1007/s00423-020-02004-9>
4. Riggs, B L, and L J Melton 3rd. The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone*. 1995; Vol. 17, Suppl 5: 505S-511S. doi:10.1016/8756-3282(95)00258-4
5. *Методи досліджень у фізичному вихованні*: навч. посіб. для студ. / В. В. Чижик., О. К. Дудник. - Біла Церква: 2013. 241 с.
6. Сергеєнкова О. П., Столярчук О. А., Коханова О. П., Пасєка О. В. *Загальна психологія*: навч. посіб. – Київ : Центр учбової літератури, 2012. 296 с.
7. Антропометрія і методи антропометричних досліджень. Vuzlit. – URL: https://vuzlit.com/82086/antropometriya_i_metodi_antropometricnih_doslidzhen. – (дата звернення 18.11.2023).
8. Vertinsky, Patricia. Embodying Normalcy: Anthropometry and the Long Arm of William H. Sheldon's Somatotyping Project. *Journal of Sport History*, 2002; Vol. 29, 1, pp. 95–133. JSTOR – URL: <http://www.jstor.org/stable/43610055> – (дата звернення 12.11.2023).
9. Чаплик-Чижо, І. О. 2018. “Конституціональні відмінності між практично здоровими і хворими на піодермії чоловіками та жінками західного

регіону України” Дис. канд. мед. наук, Вінницький Національний Медичний Університет ім. М. І. Пирогова МОЗ України.

10. Загромава, Т. А., Белобородова, Э. И., Корнетов, Н. А., Балаганская, М. А., Гладиліна, Е. К. Возможности конституционального подхода в оценке течения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки в амбулаторной практике. *Справочник врача общей практики*, 2014; 1, 74-78.

11. Семенченко, В. В. Кореляції конституціональних параметрів тіла практично здорових жінок Поділля мезоморфного соматотипу з показниками церебрального кровообігу. *Biomedical and biosocial anthropology*, 2016; 27, 49-52.

12. Жмурик, В. В., Кухар, І. Д., Жмурик, Д. В. Особливості антропометричних показників та соматотипу у дорослого населення, хворого на інсулінозалежний цукровий діабет. *Вісник морфології*, 2007; 13, 1, 157-162.

13. Visaria A, Setoguchi S Body mass index and all-cause mortality in a 21st century U.S. population: A National Health Interview Survey analysis. *PLoS One*. 2023; 18(7): e0287218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287218>

14. Чухланцева Н. В. *Технології підвищення спортивної майстерності: фізична культура і спорт*: навч. посібн. / Чухланцева Н. В. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 226с.

15. Nagibovich OA, Smirnova GA, Andriyanov AI, Kravchenko EV, Konovalova IA. Possibilities of bioimpedance analysis in the diagnosis of obesity. *Vestnik Rossijskoj Voenno-meditsinskoj akademii*. 2018; 20(2):182-186. <https://doi.org/10.17816/brmma12321>.

16. Ross R., Neeland I.J., Yamashita S. et al. Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nat. Rev .Endocrinol.*. 2020. Vol. 16 (3). P. 177–189.

17. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian. J. Med. Res.*. 2018. Vol. 148 (5). P. 648–658.

18. Arias Téllez M.J., Carrasco F., España Romero V. et al. A comparison of body composition assessment methods in climbers: Which is better? *PLoS One*. [электронный ресурс]: 2019. Vol. 14 (11). P. e0224291. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6867696>. – (дата звернения 18.11.2023).
19. Martirosov, E. G., Nikolaev, D. V., Rudnev, S. G. *Technologies and methods of human body composition assessment*, 2006. 248 p.
20. Lyons-Reid J, Derraik JGB, Ward LC, Tint M-T, Kenealy T, Cutfield WS. Bioelectrical impedance analysis for assessment of body composition in infants and young children: A systematic literature review. *Clinical Obesity*. 2021;11(3):e12441. <https://doi.org/10.1111/cob.12441>
21. Lemos T., Gallagher D. Current body composition measurement techniques. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2017. Vol. 24(5). P. 310–314.
22. Ponti F., De Cinque A., Fazio N. et al. Ultrasound imaging, a stethoscope for body composition assessment. *Quant Imaging Med Surg*. 2020. Vol. 10 (8). P. 1699–1722.
23. Hasegawa N., Kurihara T., Sato K. et al. Intramyocellular and Extramyocellular Lipids Are Associated With Arterial Stiffness. *Am J Hypertens*. 2015. Vol. 28 (12). P. 1473–1479.
24. Rahal L. Methods and Interests of Bioelectric Impedance in Medical Practice. *Physical Sciences Forum*. 2023; 6(1):3. <https://doi.org/10.3390/psf2023006003>
25. Andreoli A, Scalzo G, Masala S, Tarantino U, Guglielmi G. Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry. *La Radiologia Medica*. 2009; 114(2):286-300. <https://doi.org/10.1007/s11547-009-0369-7>
26. Dehghan M, Merchant AT. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutrition Journal*. 2008; 9(7):26. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-7-26>

27. MEDLINE. Skinfold Fat caliper-profi. [електронний ресурс]: – URL: <https://www.medline.be/en/Skinfold-Fat-caliper-profi>. – (дата звернення 20.10.2023).
28. HaB International Ltd. Harpenden. Harpenden Skinfold Caliper. [електронний ресурс]: – URL: <https://www.habdirect.com/brand/harpenden/>. – (дата звернення 20.10.2023).
29. Мустецов Т. М., Нечипоренко А. С. Теорія біотехнічних систем: навч. посібник. – Харків.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. 188 с
30. Аналізатор імпедансного складу тіла «Діамант». [електронний ресурс]: – URL: <https://www.lidermed-ru.com/products/analizator-impedansniy-sostava-tela-diamant-aist>. – (дата звернення 21.10.2023).
31. TANITA. BC-313TANITA Europe. [електронний ресурс]: – URL: <https://tanita.de/bc-313>. – (дата звернення 21.10.2023).
32. GMON Std. GMON Pro – your professional partner. [електронний ресурс]: – URL: https://www.gmon.eu/hlp_en. – (дата звернення 22.10.2023).
33. Modified eCommerce Shopsoftware. Omron BF 306. [електронний ресурс]: – URL: <https://www.proaktivo.de/Messgeraete/Koerperfettmessgeraete/Omron-BF-306-Koerperfettmessung::661.html>. – (дата звернення 22.10.2023).
34. TIARA MEDICAL. Mobile analyse InBody 270 Flexible InBody. [електронний ресурс]: – URL: <https://de.inbody.com/produkte/inbody-270/> – (дата звернення 21.10.2023).
35. Genesis Esthetic. Калькулятор ІМТ. [електронний ресурс]: – URL: <https://genesis-clinic.com.ua/indeks-masy-tila> – (дата звернення 24.10.2023).
36. Nutrilog SAS. Aminostats BIO-ZM II. [електронний ресурс]: – URL: https://nutrilog.com/nutrilog_fr/aminostats.htm – (дата звернення 24.10.2023).
37. Bauce GJ, et al. Formulas for Determining Ideal Weight and Its Relationship to the Body Mass Index in Adults. *Obese*. 2021; 1(1):3.

38. Lee R.C., Wang Z., Neo M., Ross R., Janssen I., Heymsfield S.B. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000. V. 72. P. 796–803
39. Фізіологія людини і тварин (фізіологія нервової, м'язової і сенсорних систем) : підручник : [для студ. вищ. навч. закл.] / М. Ю. Клевець, В. В. Манько, М. О. Гальків, та ін. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 312 с.
40. Воловик Н.І. Навчальний посібник «Оздоровчий фітнес: Склад тіла» для студентів інститутів фізичного виховання та спорту вищих педагогічних навчальних закладів. – К.: Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2014. 43с.
41. Ellis, K.J. Human body composition: in vivo methods. *Physiological reviews.* 2000; 80 2, 649-80 .
42. Wilcoxon signed-rank test. [електронний ресурс]: – URL: <https://datatab.net/tutorial/wilcoxon-test> – (дата звернення 04.11.2023).
43. Mann-Whitney U Test using SPSS Statistics. [електронний ресурс]: – URL: <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/mann-whitney-u-test-using-spss-statistics.php#:~:text=Introduction,continuous%2C%20but%20not%20normally%20distributed.> – (дата звернення 06.11.2023).
44. ABC-01 «МЕДАСС». [електронний ресурс]: – URL: <http://intecard.by/core/data/products/sprut/%D0%A1%D0%BF%D1%80%D1%83%D1%82%20%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE.pdf> – (дата звернення 12.11.2023).
45. Розуміння Клієнт-Серверної Архітектури на прикладах. [електронний ресурс]: – URL: <https://dou.ua/forums/topic/44636/> – (дата звернення 12.12.2023).
46. Об'єктно-орієнтоване програмування : конспект лекцій для студентів напряму підготовки "Комп'ютерні науки" всіх форм навчання / Ю. Е. Парфьонов, В. М. Федорченко, М. Ю. Лосєв, О. В. Щербаков. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2020. – 312 с.

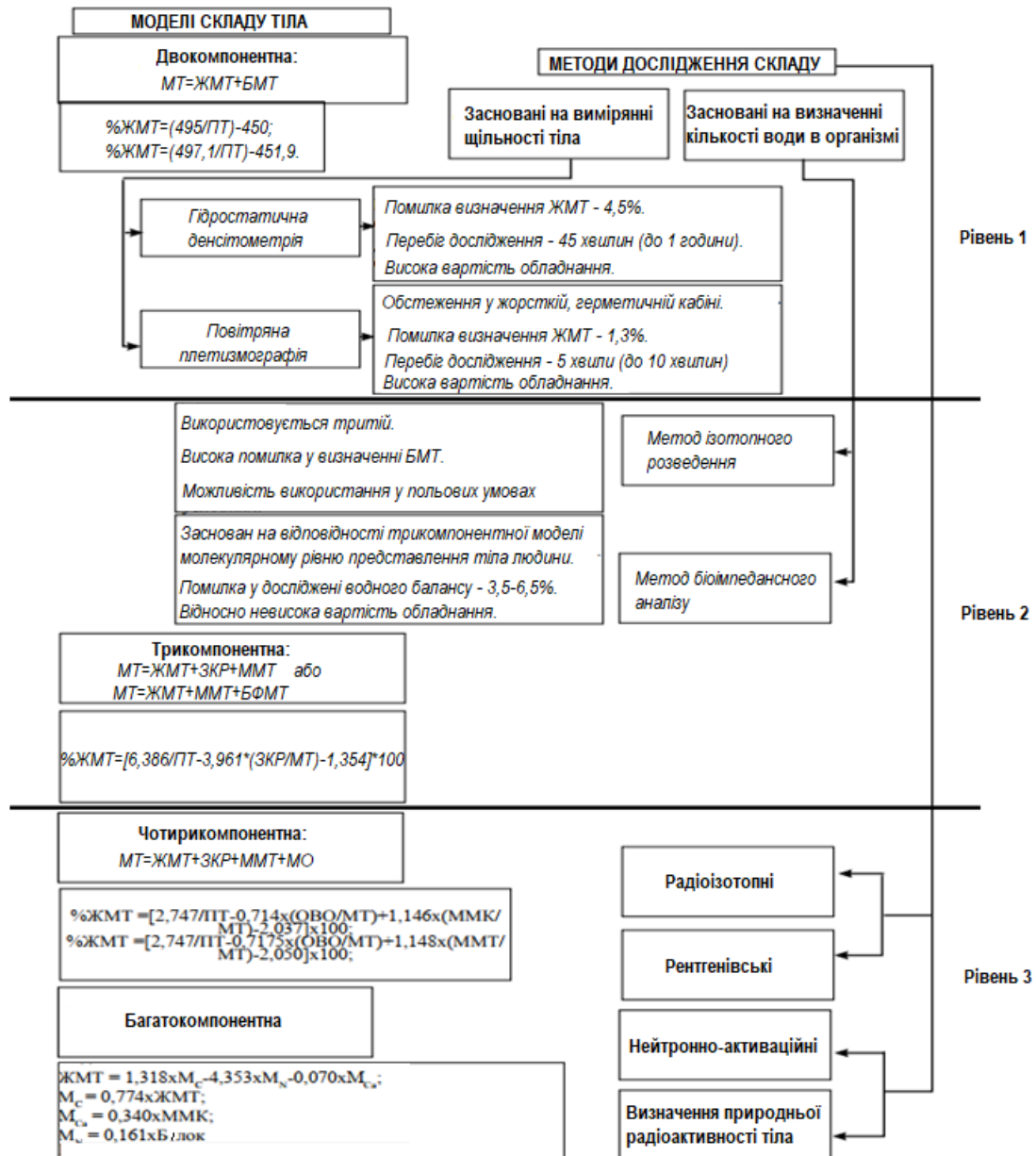
47. Основи візуального програмування мовою C# : навч. посіб. для студентів навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій / М. І. Безменов, О. М. Безменова, Д. В. Калінін. – Харків : ФОП Панов А. М., 2023. 648 с.

48. ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання». К: ДП «УкрНДНЦ, 2016.

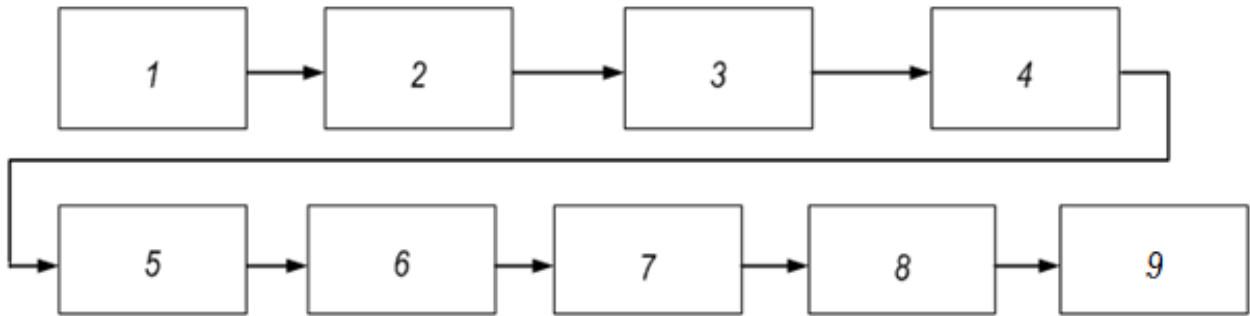
49. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. К.:ДП «УкрНДНЦ, 2016.

ДОДАТОК А

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МОДЕЛЯМИ ТА МЕТОДАМИ ОЦІНКИ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ



Примітка: МТ – маса тіла, ЖМТ – жирова маса тіла, БМТ – безжирова маса тіла, ЗКР – загальна кількість рідини, ММТ – мінеральна маса тіла, ПТ – щільність тіла, СМТБЖ – суха маса тіла без жиру, БФМТ – безжирова фракція м'яких тканин, ММК – мінеральна маса кісток, КМТ – клітинна маса тіла, % ЖМТ – відсотковий вміст жиру в тілі, Мс, Мса, Мн – маса вуглеця, кальція, азоту.

ДОДАТОК Б**СТРУКТУРНА СХЕМА МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ**

- 1 – Огляд пацієнта, проведення каліперометрії та антропометричного обстеження;
- 2 – Визначення стандартних показників статури та індексу маси тіла;
- 3 – Визначення показника скелетно-м'язової маси тіла;
- 4 – Визначення вміст жиру в організмі людини;
- 5 – Визначення худої маси тіла та об'єма загальної води;
- 6 – Визначення кількості позаклітинної рідини в тілі людини;
- 7 – Визначення активної клітинної маси тіла та її долі у загальній масі тіла;
- 8 – Визначення загальної кількості рідини в організмі;
- 9 – Визначення показників основного обміну на загальному, тканинному та клітинному рівні.

ДОДАТОК В

ІНДИВІДУАЛЬНА КАРТА АНТРОПОМЕТРИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

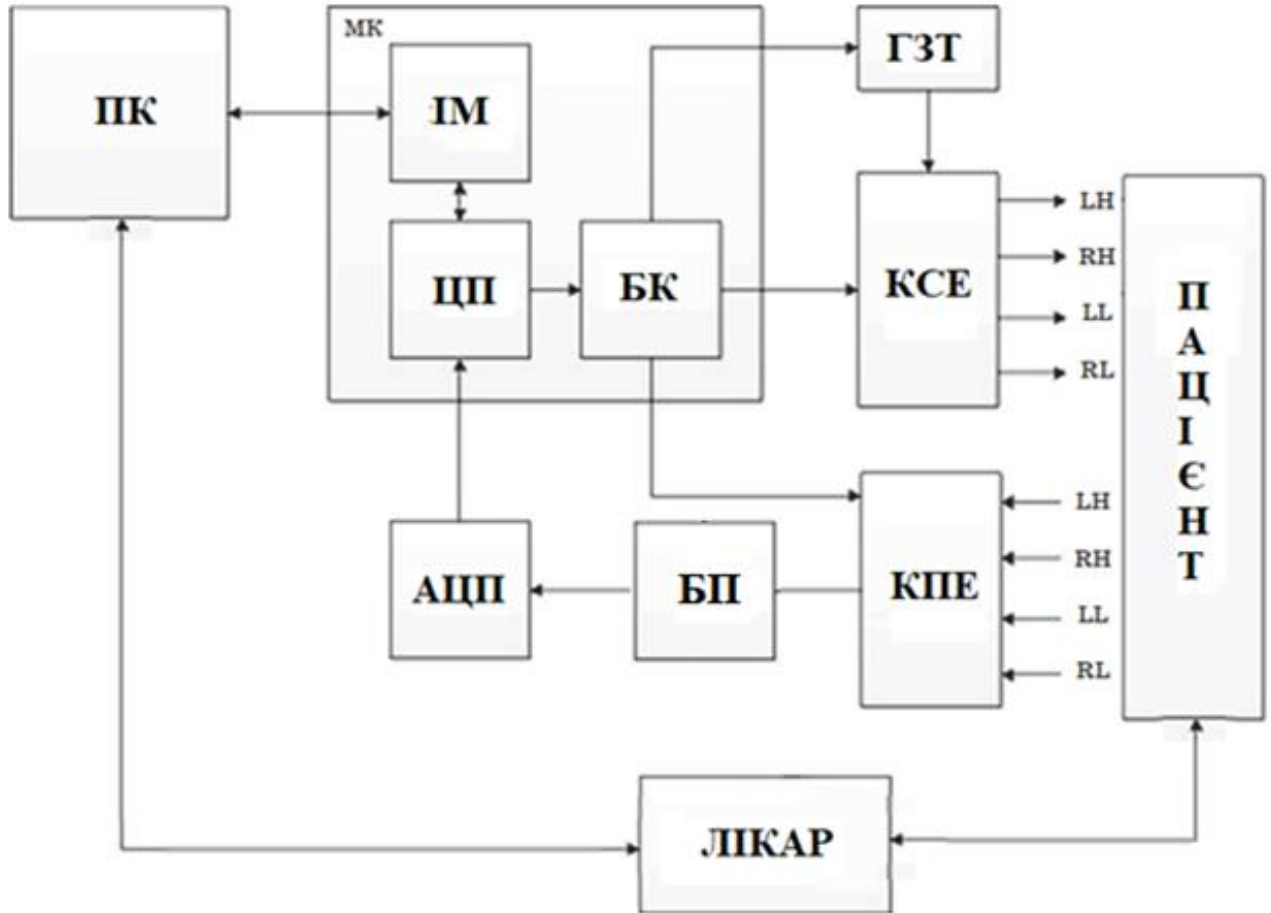
1. Прізвище, ім'я та по-батькові _____
2. Факультет, курс, група _____
3. Дата народження _____
4. Дата обстеження _____

Досліджуваний показник	Величина показника	
	справа	зліва
Висота точок над підлогою (см)		
Верхівчата (довжина тіла)		
Верхньогрудинна		
Акроміальна		
Променева		
Повздовжні розміри тіла (см)		
Корпуса (1-8)*		
Тулуба (2-8)		
Руки (3-6)		
Плеча (3-4)		
Передпліччя (4-5)		
Кисті (5-6)		
Ноги (7+8) : 2		
Стегна (17-9)		
Гомілки (9-10)		
Діаметри тіла(мм)		
Акроміальний (ширина плечей)		
Середньогрудний поперечний		
Середньогрудний сагітальний		
Тазогребневий (ширина тазу)		
Дистальної частини плеча		
Дистальної частини стегна		
Дистальної частини гомілки		

Обхватні розміри тіла (см)		
Грудної клітки (у спокої)		
Грудної клітки на вдиху		
Грудної клітки на видиху		
Грудної клітки (екскурсія)		
Плеча напруженого		
Плеча розслабленого		
Передпліччя проксимально		
Передпліччя дистально		
Стегна		
Гомілки проксимально		
Гомілки дистально		
Шкірно-жирові складки (мм)		
На спині (d1)		
На грудях (d2)		
На животі (d3)		
На плечі спереду (d4)		
На плечі ззаду (d5)		
На передпліччі (d6)		
На стегні (d7)		
Вага тіла (кг)		
Поверхня тіла (м²)		
Пропорції тіла		
Соматотип		

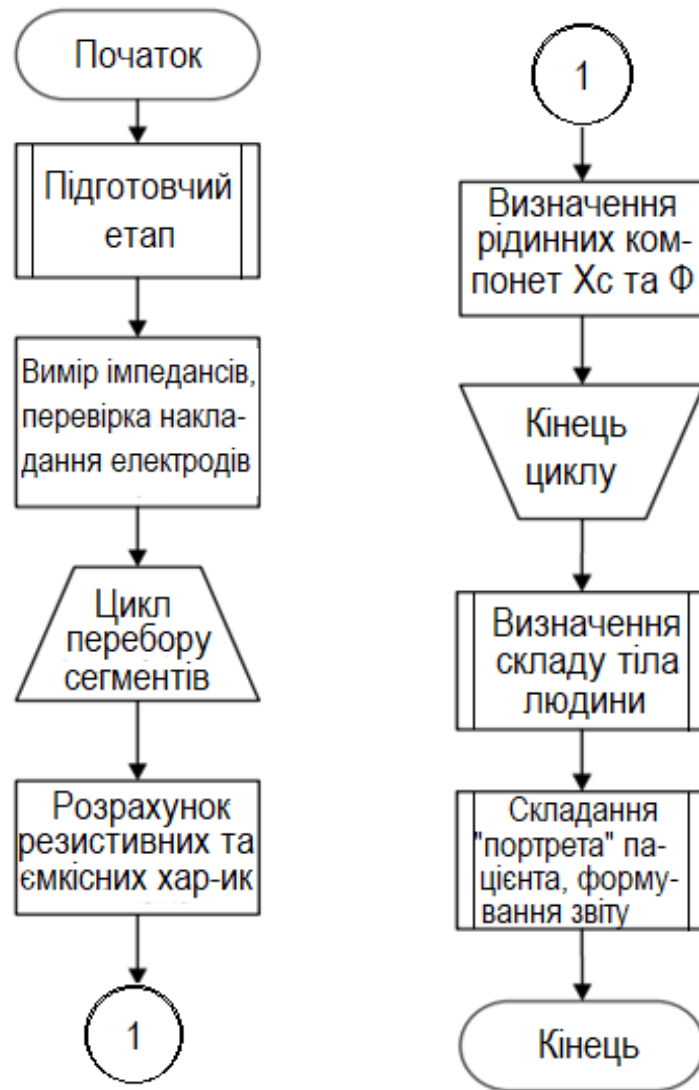
ДОДАТОК Г

БІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ.
СХЕМА СТРУКТУРНА.



ДОДАТОК Д

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТІЛА ЛЮДИНИ. СХЕМА АЛГОРИТМУ.



ДОДАТОК Е

Фрагмент лістингу програми визначення складу тіла людини.

```
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите свой вес в килограммах:");
        double weight = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите свой рост в метрах:");
        double height = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        double bmi = CalculateBMI(weight, height);
        Console.WriteLine($"Ваш Индекс Массы Тела (ИМТ): {bmi}");
        string interpretation = InterpretBMI(bmi);
        Console.WriteLine($"Трактовка ИМТ: {interpretation}");
    }
    static double CalculateBMI(double weight, double height)
    {
        // Формула расчета ИМТ: вес / (рост * рост)
        return weight / (height * height);
    }
    static string InterpretBMI(double bmi)
    {
        if (bmi < 18.5)
        {
            return "Недостаточная масса тела";
        }
        else if (bmi < 24.9)
        {
            return "Нормальная масса тела";
        }
        else if (bmi < 29.9)
        {
            return "Избыточная масса тела (предожирение)";
        }
        else if (bmi < 34.9)
        {
            return "Ожирение 1 степени";
        }
        else if (bmi < 39.9)
        {
            return "Ожирение 2 степени";
        }
        else
        {

```

```

        return "Ожирение 3 степени";
    }
}
static void Main()
{
    Console.WriteLine("Введите ваш пол (м - мужской, ж - женский):");
    char gender = Convert.ToChar(Console.ReadLine());
    Console.WriteLine("Введите ваш возраст:");
    int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
    double bodyFatPercentage = CalculateBodyFatPercentage(weight, height, gender, age);
    Console.WriteLine($"Ваш процент жировой массы тела: {bodyFatPercentage:F2}%");
}
static double CalculateBodyFatPercentage(double weight, double height, char gender, int age)
{
    double bmi = CalculateBMI(weight, height);
    double bodyFatPercentage = 0;
    if (gender == 'м')
    {
        bodyFatPercentage = 1.2 * bmi + 0.23 * age - 16.2;
    }
    else if (gender == 'ж')
    {
        bodyFatPercentage = 1.2 * bmi + 0.23 * age - 5.4;
    }
    else
    {
        Console.WriteLine("Неверно указан пол. Используйте 'м' или 'ж'.");
        Environment.Exit(1);
    }
    return bodyFatPercentage;
}

static double CalculateBMI(double weight, double height)
{
    // Формула расчета ИМТ: вес / (рост * рост)
    return weight / Math.Pow(height / 100, 2);
}
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите ваш вес в килограммах:");
        double weight = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш процент жировой массы:");
        double bodyFatPercentage = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        double leanBodyMass = CalculateLeanBodyMass(weight, bodyFatPercentage);
    }
}

```

```

    Console.WriteLine($"Ваша худая масса тела: {leanBodyMass:F2} кг");
}
static double CalculateLeanBodyMass(double weight, double bodyFatPercentage)
{
    // Расчет худой массы тела: общий вес * (1 - процент жировой массы в виде десятичной
доби)
    return weight * (1 - bodyFatPercentage / 100);
}
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите сопротивление тела (в Омах):");
        double bodyResistance = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш возраст:");
        int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш пол (м - мужской, ж - женский):");
        char gender = Convert.ToChar(Console.ReadLine());
        double totalBodyWater = CalculateTotalBodyWater(bodyResistance, age, gender);
        Console.WriteLine($"Общее количество воды в организме: {totalBodyWater:F2} литра");
    }
    static double CalculateTotalBodyWater(double bodyResistance, int age, char gender)
    {
        // Пример упрощенной формулы для расчета общего количества воды
        double totalBodyWater = 0;
        if (gender == 'м')
        {
            totalBodyWater = (0.6 * bodyResistance) + (0.03 * age);
        }
        else if (gender == 'ж')
        {
            totalBodyWater = (0.5 * bodyResistance) + (0.025 * age);
        }
        else
        {
            Console.WriteLine("Неверно указан пол. Используйте 'м' или 'ж'.");
            Environment.Exit(1);
        }
        return totalBodyWater;
    }
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите сопротивление тела (в Омах):");

```

```

double bodyResistance = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
double leanBodyMass = CalculateLeanBodyMass(bodyResistance);
Console.WriteLine($"Ваша активная клеточная масса: {leanBodyMass:F2} кг");
}
static double CalculateLeanBodyMass(double bodyResistance)
{
    // Пример упрощенной формулы для расчета активной клеточной массы
    // Учтите, что это упрощенный пример и фактический результат может варьироваться
    return 0.95 * bodyResistance;
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите ваш рост в сантиметрах:");
        double height = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш возраст:");
        int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        double idealBodyWeight = CalculateBrocaFormula(height, age);
        Console.WriteLine($"Идеальная масса тела по формуле Брокка: {idealBodyWeight:F2}
кг");
    }
    static double CalculateBrocaFormula(double height, int age)
    {
        // Формула Брокка для расчета идеальной массы тела
        return ((height - 100 + age / 10.0) / (100 - age / 10.0)) * 0.9;
    }
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {
        Console.WriteLine("Введите ваш рост в сантиметрах:");
        double height = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш обхват запястья в сантиметрах:");
        double wristCircumference = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш возраст:");
        int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("Введите ваш пол (м - мужской, ж - женский):");
        char gender = Convert.ToChar(Console.ReadLine());
        // Расчет идеальной массы тела по формуле Креффа
        double kreffIdealBodyWeight = CalculateKreffFormula(height, age);
        Console.WriteLine($"Идеальная масса тела по формуле Креффа:
{kreffIdealBodyWeight:F2} кг");
        // Расчет идеальной массы тела по формуле компании "Metropolitan Life"
        double metropolitanLifeIdealBodyWeight = CalculateMetropolitanLifeFormula(height,
gender);
    }
}

```

```

    Console.WriteLine($"Идеальная масса тела по формуле Metropolitan Life:
{metropolitanLifeIdealBodyWeight:F2} кг");
    // Расчет идеальной массы тела по формуле Моннерота-Думайна
    double monnerotDumaineIdealBodyWeight = CalculateMonnerotDumaineFormula(height,
wristCircumference);
    Console.WriteLine($"Идеальная масса тела по формуле Monnerot-Dumaine:
{monnerotDumaineIdealBodyWeight:F2} кг");
    // Расчет идеальной массы тела по формуле Борнгардта
    double borngardtIdealBodyWeight = CalculateBorngardtFormula(height, wristCircumference);
    Console.WriteLine($"Идеальная масса тела по формуле Borngardt:
{borngardtIdealBodyWeight:F2} кг");
}
static double CalculateKreffFormula(double height, int age)
{
    return ((height - 100 + age / 10.0) / (100 - age / 10.0)) * 0.9;
}
static double CalculateMetropolitanLifeFormula(double height, char gender)
{
    double baseWeight = 0;
    if (gender == 'м')
    {
        baseWeight = 48 + 2.7 * ((height - 152.4) / 2.54);
    }
    else if (gender == 'ж')
    {
        baseWeight = 45.5 + 2.2 * ((height - 152.4) / 2.54);
    }
    else
    {
        Console.WriteLine("Неверно указан пол. Используйте 'м' или 'ж'.");
        Environment.Exit(1);
    }
    return baseWeight;
}
static double CalculateMonnerotDumaineFormula(double height, double wristCircumference)
{
    return (height - 100 + (wristCircumference / 10.0)) * 0.9;
}
static double CalculateBorngardtFormula(double height, double wristCircumference)
{
    // Формула Борнгардта для расчета идеальной массы тела
    return (height - 150 + wristCircumference / 2) * 0.75;
}
}
using System;
class Program
{
    static void Main()
    {

```

```

Console.WriteLine("Введите ваш пол (м - мужской, ж - женский):");
char gender = Convert.ToChar(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("Введите ваш возраст:");
int age = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
Console.WriteLine("Введите ваш уровень физической активности (1 - Низкий, 2 -
Средний, 3 - Высокий):");
int activityLevel = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
double recommendedLeanMassPercentage =
CalculateRecommendedLeanMassPercentage(gender, age, activityLevel);
Console.WriteLine($"Рекомендуемый процент содержания тощей массы тела:
{recommendedLeanMassPercentage:F2}%");
// Нормальные значения для сравнения
double normalRangeLowerBound = 5; // Нижняя граница нормы
double normalRangeUpperBound = 20; // Верхняя граница нормы
// Сравнение с нормальными значениями
if (recommendedLeanMassPercentage >= normalRangeLowerBound &&
recommendedLeanMassPercentage <= normalRangeUpperBound)
{
    Console.WriteLine("Ваш процент содержания тощей массы в норме.");
}
else if (recommendedLeanMassPercentage < normalRangeLowerBound)
{
    Console.WriteLine("Ваш процент содержания тощей массы ниже нормы.");
}
else
{
    Console.WriteLine("Ваш процент содержания тощей массы выше нормы.");
}
}
static double CalculateRecommendedLeanMassPercentage(char gender, int age, int activityLevel)
{
    // Пример упрощенной формулы для расчета рекомендуемого процента содержания
тощей массы
    double basePercentage = 10;
    // Модификации в зависимости от пола, возраста и уровня физической активности
    if (gender == 'м')
    {
        basePercentage += 1; // Мужчины имеют обычно более высокий процент содержания
мышц
    }
    if (age >= 40)
    {
        basePercentage -= 1; // С возрастом мышцы могут уменьшаться
    }
    switch (activityLevel)
    {
        case 1:
            basePercentage -= 1; // Низкий уровень физической активности
            break;

```



```

        case 3:
            basePercentage += 1; // Высокий уровень физической активности
            break;
        // Для среднего уровня активности не делаем коррекций
    }
    return basePercentage;
}
}
public double CalculateBodyFatPercentage(double totalBodyWater, double weight)
{
    // Расчет %ЖМТ (процента жировой массы тела)
    return ((weight - totalBodyWater) / weight) * 100;
}

public double CalculateMuscleMass(double totalBodyWater, double weight)
{
    // Расчет ММТ (мышечной массы тела)
    return weight - (weight - totalBodyWater);
}

public double CalculateTotalBodyWater(double resistance)
{
    // Расчет ОВО (общего объема воды)
    // Пример упрощенной формулы, фактический расчет может варьироваться
    return 0.95 * resistance;
}

public double CalculateExtracellularFluidPercentage(double totalBodyWater)
{
    // Расчет %внеклеточной жидкости
    // Пример упрощенной формулы, фактический расчет может варьироваться
    return 20 + (totalBodyWater * 0.1);
}
}
class Program
{
    static void Main()
    {
        // Пример использования
        ImpedanceCalculator impedanceCalculator = new ImpedanceCalculator();
        // Предположим, у вас есть результаты импедансометрии
        double weight = 70; // вес в кг
        double height = 170; // рост в см
        double resistance = 500; // сопротивление в Омах
        double totalBodyWater = impedanceCalculator.CalculateTotalBodyWater(resistance);
        // Расчет и вывод показателей
        double bmi = impedanceCalculator.CalculateBMI(weight, height);
        double bodyFatPercentage =
        impedanceCalculator.CalculateBodyFatPercentage(totalBodyWater, weight);
    }
}

```

```
double muscleMass = impedanceCalculator.CalculateMuscleMass(totalBodyWater, weight);
double extracellularFluidPercentage =
impedanceCalculator.CalculateExtracellularFluidPercentage(totalBodyWater);
Console.WriteLine($"ИМТ: {bmi:F2}");
Console.WriteLine($"Процент жировой массы тела: {bodyFatPercentage:F2}%");
Console.WriteLine($"Мышечная масса тела: {muscleMass:F2} кг");
Console.WriteLine($"Процент внеклеточной жидкости:
{extracellularFluidPercentage:F2}%");
}
}
```