

УДК 004.8:641/642

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2025.100>

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В НУТРИЦІОЛОГІЇ

Олександр Аркадійович Мартинчук,

кандидат медичних наук

<https://orcid.org/0000-0002-8575-5589>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Лариса Вацлавівна Баль-Прилипко

доктор технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-9489-8610>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Олег Віталійович Швець,

кандидат медичних наук

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Альона Борисівна Альтанова,

кандидат педагогічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-2783-4932>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Анотація. Останнім часом відбувається хвилеподібне зростання інтересу до потенціалу штучного інтелекту (ШІ) практично у всіх галузях науки і техніки. Враховуючи цей тренд, слід зазначити, що наявні алгоритми машинного навчання перебувають на стадії постійного розвитку та вдосконалення. Вони є залежними від сателітних технологій, що дозволяють якісно збирати необхідну для подальшого аналізу інформацію. Цілком зрозуміло, що сучасні моделі ШІ володіють не тільки перевагами, а й недоліками, що динамічно змінюються. Можливості застосування ШІ потребують подальшого вивчення, модернізації та оцінки з точки зору практичної цінності. В нашій роботі ми сконцентрувались на поточних можливостях застосування ШІ в нутриціології, зокрема у контексті формування персоналізованих дієтичних рекомендацій, оптимізації здоров'я та підтримки наукових досліджень. Розуміючи потенціал ШІ для вдосконалення роботи нутриціологів та покращення впливу на показники здоров'я людини ми спробували відокремити перспективні аспекти використання цієї технології від реального стану речей.

Метою дослідження став аналіз сучасних технологій і методів ШІ для оцінки їхнього впливу на розвиток нутриціології, окресленні переваг і обмежень технологій, а також перспектив подальшого використання.

Методи дослідження включали систематичний аналіз наукових джерел, огляд сучасних технологій і моделей ШІ, що активно використовуються для персоналізації харчування. Особлива увага приділялася можливостям комп'ютерного зору, алгоритмів глибокого машинного навчання та носимих пристроїв для аналізу поживної цінності їжі, моніторингу харчових звичок та адаптації дієтичних рекомендацій. Отримані результати свідчать, що ШІ здатен покращити якість збору та аналізу інформації про фактичне харчування людей, в тому числі шляхом нівелювання «людського чиннику». До переваг також слід віднести його здатність підвищити рівень персоналізації харчування та можливість виявляти тригери нездорової харчової поведінки, з подальшим формуванням рекомендацій

щодо корекції. У взаємодії із носимими пристроями ця технологія дозволяє проводити динамічне коригування дієти. Тим не менш, технологія залишається залежною від прогресу у розвитку носимих пристроїв, потребує уніфікованих підходів та алгоритмів використання.

Практична цінність роботи полягає у формуванні критичного відношення до можливостей імплементації цієї технології у практичну та наукову діяльність фахівців у галузі нутриціології.

Ключові слова: алгоритми машинного навчання, персоналізовані дієтичні рекомендації, харчова поведінка, оптимізація здоров'я, етичні стандарти

UDC 004.8:641/642

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2025.100>

POTENTIAL APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN NUTRITION SCIENCE

Oleksandr Martynchuk,

Candidate of Medical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-8575-5589>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Larysa Bal-Prylypko,

Doctor of Sciences, Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-9489-8610>,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Oleg Shvets,

Candidate of Medical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Alona Altanova,

Candidate of Pedagogical Sciences

<https://orcid.org/0000-0003-4999-1602>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine

Abstract. Recently, there has been a wave-like surge in interest regarding the potential of artificial intelligence (AI) across nearly all fields of science and technology. Given this trend, it is important to note that existing machine learning algorithms are in a constant state of development and refinement. These algorithms are dependent on satellite technologies that enable high-quality collection of data necessary for further analysis. It is clear that current AI models possess not only advantages but also dynamically evolving limitations. The application possibilities of AI require further research, modernization, and assessment from a standpoint of practical value.

In our study, we focused on the current possibilities of AI in the field of nutrition, specifically in the context of developing personalized dietary recommendations, optimizing health, and supporting scientific research. Recognizing the potential of AI to enhance the work of nutritionists and improve health outcomes, we aimed to distinguish the promising aspects of this technology from its current realities.

The objective of this research was to analyze contemporary AI technologies and methods to assess their impact on the development of nutrition science, outline the advantages and limitations of these technologies, and explore prospects for further use. The research methods included a systematic review of scientific sources, an overview of modern AI technologies and models actively employed for nutrition personalization. Particular attention was given to the capabilities of computer

vision, deep machine learning algorithms, and wearable devices in analyzing the nutritional value of food, monitoring dietary habits, and adapting dietary recommendations.

The results indicate that AI can significantly enhance the quality of data collection and analysis regarding actual human nutrition, including by minimizing the “human factor.” Advantages also include its ability to increase the level of dietary personalization and to identify triggers of unhealthy eating behaviors, with recommendations for correction. In conjunction with wearable devices, this technology allows for dynamic diet adjustments. However, the technology remains dependent on advancements in wearable device development and requires standardized approaches and algorithms for its application.

The practical value of this study lies in fostering a critical approach to the potential for implementing this technology in both the practical and scientific work of nutrition specialists.

Keywords: *machine learning algorithms, personalized dietary recommendations, eating behavior, health optimization, ethical standards*

ВСТУП. З кожним днем людство все більше занурюється у світ цифрових технологій. Жодна галузь науки, техніки, повсякденного життя вже не може існувати без відповідного програмного забезпечення, комп'ютерних інновацій, хмарних сервісів, аналізу великих об'ємів даних. Такі можливості створили умови до якісних проривів та стрибків як у науковому, так і в практичному напрямках. Проте до відносно недавнього часу за кожним таким рішенням, програмою, алгоритмом і кодом стояла виключно певна людина з її інтелектуальним потенціалом. Зараз ми є свідками того, як швидко цей процес еволюціонував, а звичайні здібності окремих людей доповнились можливостями штучного інтелекту (ШІ) (Joshi et al., 2024).

Завдяки цьому ми отримали захоплюючі перспективи, зокрема, в нутриціології, з виходом на принципово новий рівень персоналізації дієт та покращення здоров'я населення. Адже забезпечуючи обробку великих обсягів даних, алгоритми машинного навчання здатні зробити прорив у розробці індивідуальних рекомендацій шляхом залучення генетичних, мікробіомних і фізіологічних характеристик людини (Shajari et al., 2023). ШІ також активно застосовується і для оцінки харчових звичок, рівня фізичної активності та способу життя (Springer, 2023). Постійно зростає роль носимих пристроїв, які дозволяють відстежувати фізіологічні параметри в реальному часі, що значно покращує точність рекомендацій та їхню адаптивність до змін стану здоров'я (Sak & Suchodolska, 2021).

Ми отримали потенціал для прогнозування ризиків розвитку аліментарно-залежних захворювань, таких як діабет і серцево-судинні хвороби, а також для покращення загального здоров'я через корекцію харчування (Albracht-Schulte et al., 2024). Завдяки технології ШІ, ми отримуємо «безпрецедентні можливості» для підвищення рівня професійної кваліфікації, пом'якшення людських обмежень, таких як втома та відсутність зосередженості, а також уникнення небезпеки механічної помилки (Matheny et al., 2020). Оцифровка даних, пов'язаних зі здоров'ям, і швидке поширення компліментарних технологій створюють умови для трансформації та прогресу у використанні штучного інтелекту в охороні здоров'я в цілому та нутриціології зокрема (Topol et al., 2019; Hashimoto et al., 2018; Mayo & Leung, 2018).

Незважаючи на такий футуристичний прогноз, залишається багато питань як до самої технології, так і до можливостей її імплементації на теперішній час. Зростання рівня поширеності технології ШІ формує потребу у безперервному оновленні і вдосконаленні знань та уявлень в цій галузі. Інші виклики торкаються сфери конфіденційності даних, алгоритмічної упередженості та етичних питань (Sosa-Holwerda et al., 2024).

Отже, ми маємо справу із технологією, що постійно розвивається, має важливе значення для нутриціології, як в практичному, так і в науковому сенсі. Її можливості багатовекторні. Проте вона все ще дуже далека від досконалості і не є абсолютно уособленою, маючи пряму залежність від асоційованих пристроїв (Taiki Miyazawa et al., 2022).

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ стало проведення всебічного огляду досліджень та доступних літературних джерел для оцінки поточних можливостей ШІ в нутриціології,

визначення основних напрямів розвитку, переваг і недоліків застосування алгоритмів машинного навчання, етичних викликів, пов'язаних із використанням персональних даних, та перспектив розвитку.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ. Для вивчення можливостей штучного інтелекту в нутриціології нами було застосовано методи аналізу та систематизації наукових джерел. Основний акцент робився на вивченні та оцінці сучасних технологій, платформ і моделей ШІ, що мають наукове та практичне значення для персоналізації харчування та покращення стану здоров'я.

Дослідження складалось з кількох послідовних етапів:

1. Пошук і відбір наукових джерел. Так, для пошуку оглядових досліджень та наукових статей, нами використовувались бази даних PubMed, Scopus та Google Scholar за період із 2010 до 2024 року. Пошукові запити формулювались так: «штучний інтелект у нутриціології», «комп'ютерний зір», «персоналізоване харчування», «алгоритми машинного навчання», «аналіз мікробіому», «генетичні відмінності», «носимі сенсори для моніторингу здоров'я» та «етичні стандарти». У результаті було відібрано понад 160 статей, із яких 138 найбільш релевантних було включено до огляду.

2. Огляд і аналіз існуючих рішень. У межах проведеного дослідження вивчались наявні комерційні та науково-дослідницькі рішення, що використовують штучний інтелект для аналізу поживної та енергетичної цінності їжі, розробки персоналізованого раціону, динамічної адаптації харчування із збереженням балансу макро- та мікронутрієнтів.

3. Інтеграція додаткових даних. Окрема увага приділялась можливостям інтеграції даних про мікробіом, генетичні особливості людини для створення індивідуальних рекомендацій щодо харчування.

4. Вивчення можливостей алгоритмів глибокого машинного навчання. Ще одним питанням, що підлягало вивченню в цьому дослідженні, стало визначення можливостей залучення алгоритмів глибокого машинного навчання для вивчення та модуляції харчової поведінки, шляхом застосування різноманітних дієтичних інтервенцій.

Важливою частиною дослідження стало питання захисту та конфіденційності даних пацієнтів. Було проаналізовано правові норми та етичні моменти, пов'язані з використанням інформації про біологічні параметри у сфері нутриціології.

З критичної точки зору було проведено оцінку перспектив розвитку зазначеної технології у найближчому та віддаленому майбутньому.

Отже, використані методи, надали можливість забезпечити системний підхід до аналізу поточних можливостей та перспектив застосування потенціалу штучного інтелекту в галузі нутриціології.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ.

Потреба в залученні ШІ в нутриціологію. Оцінка фактичного харчування людини, вивчення його впливу на здоров'я та своєчасна адекватна корекція стають дедалі важливішими, враховуючи все більш глибоке розуміння ролі дієти відносно всіх аспектів нашого життя (Vitolins et al., 2020). У повсякденній практиці нутриціологи забезпечують людей необхідною інформацією, надають рекомендації щодо змін в структурі харчування та поради щодо його планування (Nutritional Cancer Institute, 2024). Цей рутинний процес з кожним днем зазнає все більш інтенсивного впливу трансформаційних технологій, які включають електронні щоденники пацієнтів, чат-боти, інформацію з носимих пристроїв та потребу в інтеграції можливостей штучного інтелекту в процеси накопичення, аналізу та інтерпретації даних з метою вирішення проблем зі здоров'ям шляхом створення все більш персоналізованих рекомендацій, їхньої адаптації у реальному часі, прогнозування нутритивних ризиків (Kelly et al., 2021).

Дослідження показують, що використання персоналізованих підходів дозволяє значно знизити ризик розвитку хронічних захворювань та покращити загальний стан здоров'я.

Наприклад, алгоритми ШІ можуть передбачити індивідуальні реакції на різні продукти, що дозволяє уникнути споживання шкідливих для конкретної людини продуктів і, таким чином, знизити ризик розвитку алергій та харчової непереносимості (Martinez & Clark, 2016).

Інші дослідники підкреслюють важливість застосування ШІ з метою розробки дієтичних стратегій для вразливих груп населення, що сприяє поліпшенню їхнього здоров'я та якості життя (Begum Kalyoncu Atasoy et al., 2024). Наприклад, літні люди, або пацієнти з хронічними захворюваннями можуть отримувати спеціально розроблені дієти, які враховують їхні унікальні потреби та обмеження (Stewart & Hughes, 2022). Алгоритми глибокого навчання можуть бути використані для виявлення складних взаємозв'язків між дієтою та здоров'ям, що дозволяє розробляти більш ефективні стратегії управління здоров'ям (Campbell & Foster, 2021).

Такі підходи все ширше використовуються у сфері охорони здоров'я країн з високим рівнем доходу. За попередніми оцінками, завдяки впровадженню додатків ШІ, до 2026 року в системі охорони здоров'я США вдасться заощадити близько 150 мільярдів доларів (Wahl et al., 2018). Окрім суто економічних переваг, штучний інтелект може допомогти підвищити ефективність медичної допомоги у неблагополучних громадах (Watkins et al., 2024), де догляд за пацієнтами часто ускладнюється певними проблемами (Zuhair et al., 2024). Проте реалізація цього підходу, отримання максимальних переваг від практичної імплементації подібних технологічних рішень вимагає ґрунтовних знань стосовно загальних можливостей ШІ, врахування переваг та недоліків, в тому числі, сателітних технологій для забезпечення високого рівня персоніфікації, підвищення достовірності отриманої інформації, спрощення взаємодії між спеціалістом та кінцевим споживачем.

Персоналізований менеджмент дієтичних інтервенцій. Одним із найважливіших напрямів застосування ШІ в нутриціології є створення персоналізованих дієтичних рекомендацій (Theodore Armand et al., 2024). Для розробки «ідеальної дієти» ми маємо врахувати вік, морбідний фон, харчові уподобання, рівень фізичного навантаження, несприятливі реакції на їжу за типом харчової алергії та непереносимості, наявні нутритивні ризики та багато іншого, що продемонстровано на рис. 1. (Sharma & Gaur, 2024).

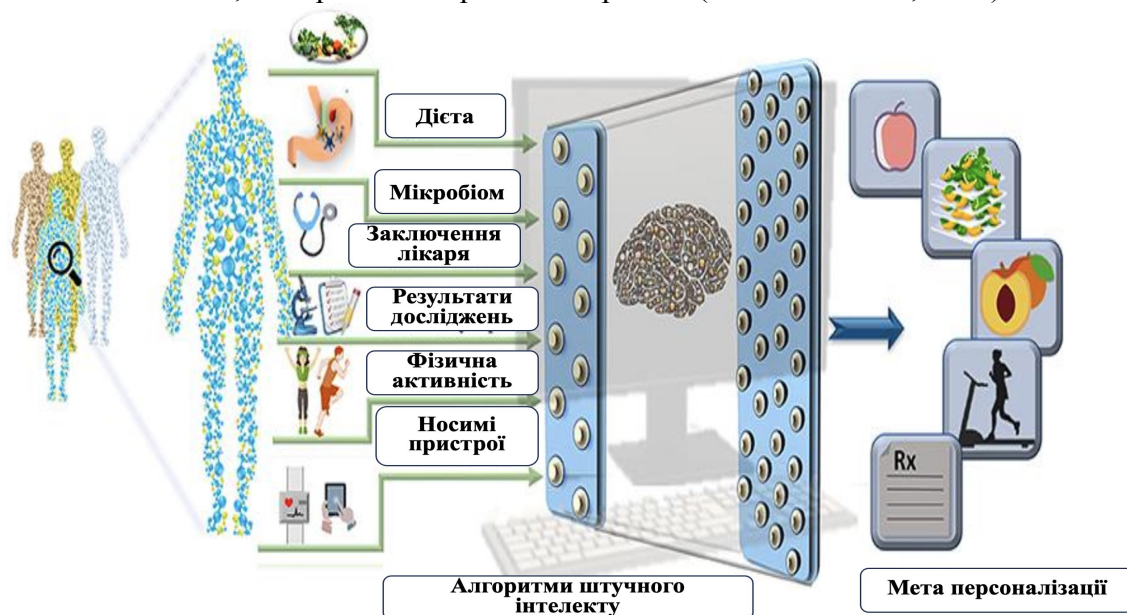


Рисунок 1. Алгоритм персоналізації дієтичних інтервенцій.

Джерело: адаптовано з Sharma & Gaur, 2024.

Це надзвичайно великий інформаційний пласт, впоратись з яким нелегко навіть професійному фахівцю із великим досвідом роботи. На додаток до вище згаданого формується потреба у моніторингу відповідей на запропоновані рекомендації, динамічній корекції

рекомендацій, оцінці комплаєнтності тощо. Такі вимоги автоматично ускладнюють завдання і віддаляють можливість досягнення найкращого результату (Baker & Jackson, 2019).

Без залучення ІІІ фахівці знаходяться досить далеко від ідеалу персоніфікації, оскільки зазвичай використовують універсальні дієтичні підходи з певним точковим врахуванням особливостей людини. Зважаючи на потенційні можливості ІІІ щодо збору, аналізу та синтезу інформаційних потоків, ми покладаємо на нього великі сподівання. Такі підходи можуть значно покращити ефективність дієт та забезпечити краще дотримання рекомендацій пацієнтами (Lewis & Lee, 2023).

Збір даних про дієту. Найбільш поширеними методами оцінки дієти та її нутритивного складу є аналіз харчових щоденників (в тому числі, й електронних) та споживання їжі за минулу добу (Gibson, 2005). Застосування на цьому етапі класичного підходу аналізу та інтерпретації даних має певні незручності (Sharma et al., 2020), серед яких:

- значні витрати часу;
- потреба у кваліфікованих спеціалістах для проведення опитування і збору даних;
- залежність якості отриманої інформації від особливостей пам'яті та інших можливостей пацієнта.

З урахуванням зазначеного, надійність інформації, отриманої традиційними методами, може бути упередженою через неправильну оцінку даних про споживання їжі (Martin et al., 2009). Водночас, достовірність та коректність даних про споживання їжі в цілому і поживних речовин, зокрема, необхідні для планування дієти, розуміння нутритивних ризиків та оцінки ефекту подальших дієтичних інтервенцій.

Можливості застосування ІІІ є більш обнадійливими. Адже алгоритми глибокого машинного навчання можуть оперувати великими інформаційними потоками. Сам підхід дозволяє підвищити якість отримання інформації та автоматизувати процес її обробки, спираючись на актуальні, валідовані бази даних поживної та енергетичної цінності продуктів харчування (Miyazawa et al., 2022).

Для реалізації поставленого завдання зазвичай використовуються підходи, що дозволяють вийти на часткову або повну автоматизацію процесу збору інформації: 1) збір даних із застосуванням технології комп'ютерного зору; 2) анкетування, зокрема із використанням чат-ботів та аналіз отриманої інформації (Tsolakidis et al., 2024).

1) Комп'ютерний зір.

Отримання об'єктивної інформації щодо оцінки фактичного харчування людини стало можливим завдяки застосуванню «комп'ютерного зору» (Computer Vision), що являє собою технологію штучного інтелекту, яка дозволяє комп'ютерам «бачити», аналізувати та розпізнавати об'єкти на зображеннях чи відео. Спеціалізовані алгоритми аналізують фотографії їжі, визначаючи типи продуктів, їхню кількість та оцінюють поживну цінність кожного елемента (Busad et al., 2023). Процес відбувається в три етапи: 1) сегментація – відокремлення кожного продукту, 2) його розпізнавання, 3) оцінка розміру порції.

Технологія комп'ютерного зору має широке застосування завдяки своїй здатності автоматично ідентифікувати їжу, представлену на зображеннях, аналізувати її поживну та енергетичну цінність та інтегрувати ці дані в дієтичні рекомендації (Vijay et al., 2020). Загалом комп'ютерний зір, інтегрований з ІІІ, здатний кардинально змінити підхід до оцінки харчування. Ці технології не тільки покращують точність оцінки харчування, але й роблять її більш доступною для споживачів, допомагаючи автоматизувати процеси відстеження дієти та створення індивідуальних планів харчування. Це може бути особливо корисно для людей, які намагаються дотримуватися здорового харчування, оскільки дозволяє їм легко відстежувати щоденне споживання калорій і гарантувати, що вони отримують необхідні поживні речовини.

Еволюція гаджетів спрощує це завдання ще більше. У своїй роботі італійські дослідники (Giovanni et al., 2022) стверджують, що перспективним напрямом збору інформації для подальшої обробки ІІІ є застосування *смарт-окулярів*. Більш того, подібний носимий пристрій у подальшому може взагалі автоматизувати процес накопичення даних,

конвертувавши його у нон-стоп режим. Користувачу лише необхідно отримати звичку вдягати (не знімати) цей пристрій під час прийому їжі, під час перекусів тощо.

Паралельно розвивається ще одна перспективна технологія отримання важливої інформації про взаємодію людини із оточуючим світом. Мова йде про *розумні контактні лінзи*. Вони вже знайшли свою реалізацію в медичній сфері, завдяки здатності моніторити інформацію про внутрішньоочний тиск та показники глюкози крові (Kazanskiy et al., 2023). Проте їх потенціал поширюється далеко за межі носимого пристрою, оскільки вони здатні отримувати та накопичувати (завдяки хмарним сервісам) інформацію про оточення, в тому числі, про їжу, яку споживає людина (Xia et al., 2022). Враховуючи зручність та практичність саме зазначеної технології, ми можемо розглядати її як одну із найбільш перспективних для забезпечення оцінки і моніторингу харчування у якості елементу комп'ютерного зору.

Ще одним важливим напрямом використання технології комп'ютерного зору є госпіталізовані пацієнти. Досягнення раннього одужання вимагає адекватного споживання їжі та нутрієнтів. Доступні методи оцінки адекватності харчування, такі, як зважування їжі, візуальна оцінка або фотографування, можуть забирати багато часу, або супроводжуватись помилкам внаслідок «людського фактору», що призводить до різних змін у меню пацієнта (Kavita, 2021). Подібні методи оцінки мають ще більше обмежень, коли мова йде про ізолюваних пацієнтів. Використання веб-камери у медичних закладах у поєднанні із ШІ може допомогти подолати цю проблему. Крім того, вже було розроблено відповідну систему оцінки (Lu Ya et al., 2019).

На додаток до оцінки фактичного харчування сучасні моделі машинного навчання із залученням ШІ демонструють можливості оцінки мальнутриції шляхом виявлення недоїдання шляхом аналізу 2D-зображень суб'єктів у кількох позах (Khan et al., 2023).

Менше з тим, сама технологія та асоційовані пристрої потребують подальшого розвитку та вдосконалення, оскільки мають не тільки переваги, але й певні недоліки (Kaushal et al., 2024). Серед останніх слід звернути увагу на наступні:

- *Якість зображень, визначення точних розмірів (об'єму) продукту:*

Технічні особливості пристрою, що забезпечує процес фото/відео фіксації, та умови зйомки можуть впливати на точність розпізнавання їжі. Погано освітлені або нечіткі зображення можуть призводити до неточних результатів. Так, низька розподільча здатність камери здатна призвести до суттєвого зниження можливості розпізнавання та коректної класифікації продукту. Дослідники вважають, що оптимальним розміром зображення є 256x256, як це представлено наочно на рисунку 2 (Rokhva et al., 2024).

Цілком зрозуміло, що наявність та ступінь похибки у порівнянні із фактичними розмірами продукту будуть впливати на точність оцінки поживної та енергетичної цінності страви в цілому. Для її мінімізації потрібно дотримання певних параметрів зйомки (освітлення, кут зйомки, переміщення, об'єкт калібрування, тип їжі). Вивченню цього питання присвячено обмежену кількість досліджень, проте наявні стверджують, що для більшості продуктів середня похибка знаходиться в межах $\pm 20\%$. (Liang & Li, 2017). Проте в даному випадку ми завжди маємо справу із симбіозом пристрою для зйомки (спосіб отримання інформації про продукт чи страву) та певних нейромереж. І кожен із цих компонентів, їх вдосконалення вносять свій вклад у кінцевий результат. Так, використання Chat GPT-4V дозволяє зменшити вплив недосконалості етапу отримання зображення шляхом застосування порівняльного аналізу – співставлення страви/продукту із елементами оточення. Висновки, які було зроблено дослідниками цього питання, вказують на те, що GPT-4V чудово справляється з виявленням харчових продуктів у складних умовах із точністю до 87,5 % без будь-якого тонкого налаштування чи адаптації за допомогою наборів даних про харчові продукти (Lo et al., 2023).

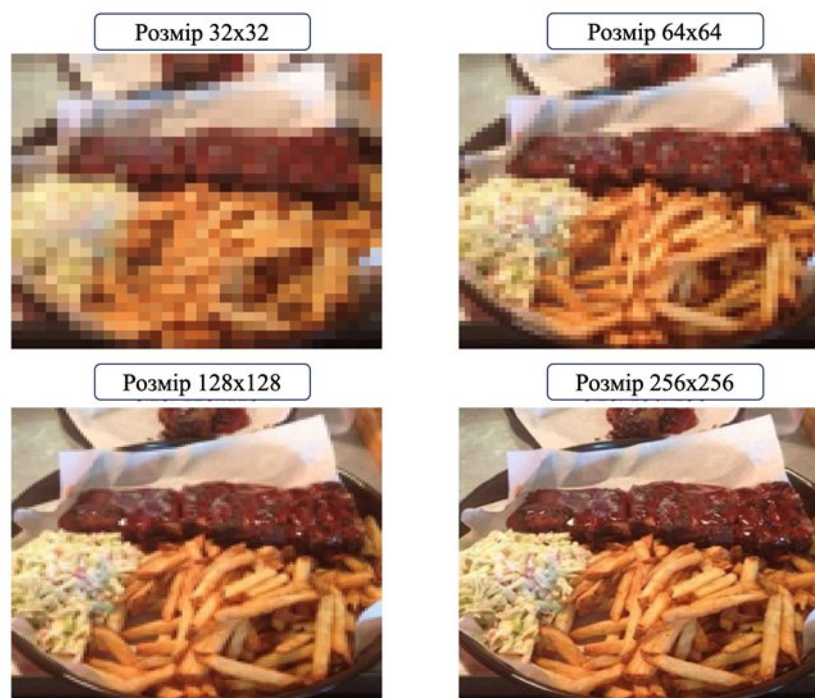


Рис. 2. Представлення зображення з різною роздільною здатністю.
Джерело: адаптовано з Rokhva et al., 2024.

- Оцінка отриманого зображення з метою визначення поживної та енергетичної цінності їжі

В одній із робіт (Kaushal et al., 2024) стверджується, що комп'ютерний зір та архітектура глибокої нейронної мережі в цілому здатні забезпечити надзвичайно високу точність вимірювання поживних речовин у їжі. Проте, існує серйозна відмінність на рівні можливостей різних додатків, які мають розпізнавати продукти. В системному огляді, присвяченому цьому питанню, дослідники проаналізували потенціал мобільних додатків на основі комп'ютерного зору, розроблених для виявлення їжі за зображеннями та оцінки калорійності певної страви (Amugongo, 2023). У ході аналізу було встановлено, що більшість існуючих рішень не здатні розрізняти харчові та нехарчові продукти. І хоча в цілому, вони демонструють багатообіцяючий потенціал для створення узагальнених моделей, здатних проводити виокремлення харчових продуктів у складі змішаних страв, залишається одна головна проблема, – ми не розуміємо, як відбувається процес навчання та на підставі чого приймаються відповідні рішення на системному рівні (Turner & Morgan, 2018).

Так само, в залежності від типу програми, або додатку, існує суттєва відмінність між результатами аналізу калорійності їжі. Так, комерційний додаток *Openfit Nutrition AI*, що дозволяє проводити кількісний аналіз споживання енергії в автоматичному та напівавтоматичному (корекція користувача) режимах, демонструє, що похибка у вимірюванні для автоматичного режиму може коливатись у межах від 43 % (їжа разом із напоями) до 16 % (виключення напоїв із аналізу). Напівавтоматичний режим вимірювання демонстрував співставні результати. Дослідники вказують, що більш значна похибка формувалась при аналізі високоенергетичних страв (Chloe et al., 2023).

Ще одне дослідження, присвячене точності та надійності оцінки енергетичного та поживного складу їжі із використанням моделі ШІ від OpenAI під назвою *ChatGPT*, продемонструвало прийнятний рівень отриманих значень. Дослідники стверджують, що найкращі результати спостерігались під час оцінки саме енергетичної цінності їжі. В 97 % випадків аналітичні можливості нейромережі дозволили отримати похибку в межах 40 % порівняно із даними Міністерства сільського господарства США (Michael et al., 2024). Різноманітність страв та способів приготування може значно ускладнювати верифікацію окремих компонентів та оцінку їх поживної цінності. Насамперед, це стосується складних або

змішаних страв. Точна ідентифікація продукту буде впливати на здатність ШІ співставити його із наявними базами даних та надати достовірну інформацію про енергетичну та поживну цінність. Найбільш ефективними в цьому напрямі виявились мультимодальні системи, такі як Chat GPT-4V. Поєднання роботи з текстом (отримання підказок від користувача про особливості страви) та здатність опрацьовувати візуальний контент формують умови для підвищення точності та достовірності аналітичної оцінки (Lo et al., 2023).

Постійна поява нових продуктів (за рахунок селекції, генетичних модифікацій) та страв, вимагає регулярного оновлення баз даних та моделей, щоб забезпечити точність розпізнавання.

Результати комплексного нутритивного аналізу із використанням різних поколінь ШІ також можуть відрізнятись. Так, при порівняльному аналізі різних генерацій ChatGPT (версія 3.5 у порівнянні із версією 4.0), обидва чат-боти забезпечили точну оцінку вмісту енергії в межах приблизно від 35 % до 48 % харчових продуктів з 222, із похибкою ± 10 %. Версія 4.0 забезпечувала дослідників більш точними даними, у той же час, переоцінюючи вміст білка в складі продукту (Hoang et al., 2023).

Аналітичні можливості оцінки вмісту макро- та мікронутрієнтів у Chat GPT спираються на такі джерела первинної інформації:

- *USDA FoodData Central*: це одна з найповніших і найнадійніших баз даних харчових продуктів, що надає інформацію про макро- та мікронутрієнти для великої кількості продуктів;
- *Nutrition Data (Self.com)*: веб-сайт, який використовує дані USDA та інших джерел для надання детальної інформації про харчові продукти;
- *FDA (Food and Drug Administration)*: надає рекомендації та стандарти щодо харчування.
- *наукові дослідження та публікації*: різні наукові статті та публікації надають деталізовану інформацію про склад окремих продуктів.

У випадку розбіжності даних, перевага зазвичай надається USDA FoodData Central. Обґрунтування такого вибору полягає у науковій точності і достовірності бази, яку підтримує уряд США, повноті та регулярному оновленні, широкому визнанні в наукових колах. Загалом, знання таких особливостей підвищує рівень довіри до використання конкретного варіанту ШІ. Крім того, ChatGPT надає відповідь на ще одне важливе питання, яке стосується специфічних особливостей продукту, що має різний ступінь зрілості, регіон походження тощо. Адже різні сорти яблук, з огляду на ці обставини, можуть мати різну поживну цінність. У цьому випадку ChatGPT орієнтується на додаткові літературні джерела або використовує середні значення вмісту нутрієнтів. Зважаючи на те, що в рутинній практиці нутриціолога це рідке явище, такий підхід може підвищити достовірність отриманих результатів.

Загалом, камери з синергією алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання можуть виробляти важливу інформацію для систем рекомендацій. Від оцінки калорій до оцінки об'єму, від розпізнавання їжі до розпізнавання інгредієнтів, потужність зображень RGB і RGBD відіграє вирішальну роль у сфері PN, і в майбутньому вона може дати ще більше (Tsolakidis et al., 2024). Загалом, такі можливості проілюстровано на рисунку 3.

Технологія комп'ютерного зору та аналізу їжі потребують подальшого удосконалення для підвищення якості розпізнавання та класифікації за зображеннями не тільки солідних харчових продуктів, а й комбінованих страв та напоїв. Один із напрямків розвитку зазначених технологій може лежати в площині поєднання технології ближнього інфрачервоного гіперспектрального аналізу зображення та методу глибокого навчання під назвою *OptmWave* (Li et al., 2023). Автори цього проекту продемонстрували потенціал визначення складу їжі на прикладі спектральних даних ближнього інфрачервоного діапазону яєчні з помідорами. Разом з тим, подібні спектроскопічні методи, поєднані з алгоритмами машинного навчання, дозволяють контролювати якість продуктів шляхом виявлення можливих домішок та контамінацій (Sen et al., 2022).



Рис. 3. Оцінка енергетичної цінності спожитої їжі на основі можливостей Chat GPT-4V

Джерело: авторська розробка.

2) Анкетування та харчові щоденники.

Розробка електронних анкет, застосування чат-ботів для збору інформації про фактичне харчування людини може значно підвищити рівень цифровізації цього процесу та збільшити можливості залучення ІІІ. Це може бути реалізовано на рівні запровадження динамічних електронних анкет, що здатні адаптуватись в залежності від відповіді респондента. Чат-боти з інтегрованим ІІІ, в залежності від налаштувань, можуть забезпечити інтерактивне спілкування. Таким чином можна уникнути повторних питань, за більш короткий час отримати необхідний обсяг даних, уникнути помилок, за необхідності уточнити відповіді. Одним із найвідоміших прикладів такого чату є ChatGPT. Проте незважаючи на всю зручність користування ним та інші переваги, постійно виявляються певні недоліки. Так, в одному з досліджень, присвяченому використанню можливостей цього чату для пацієнтів із цукровим діабетом, метаболічним синдромом, виявилось, що під час розрахунку добового раціону на 1500 Ккал, чат припускався ряду прогалин. Вони стосувались рекомендацій щодо зниження ваги, коректного визначення потрібного дефіциту енергії, необхідного рівня нутрієнтів тощо. Під час аналізу дослідники дійшли висновку, що подібні чат-боти можуть бути використанні відповідними фахівцями, проте ще не здатні замінити дієтолога (Naja, Taktouk et al. 2024).

3) Збір даних про фізичні та фізіологічні параметри людини.

А. Носимі сенсорні пристрої.

Поява носимих технологій та інших медичних пристроїв створила умови для моніторингу і кількісної оцінки фізичних, поведінкових, соціальних і зовнішніх аспектів. Їх перевагою, окрім можливості виконувати своє безпосереднє призначення з різним ступенем достовірності, є висока ступінь доступності та постійне вдосконалення як самого пристрою, так і програмного керуючого забезпечення (Sonkusale et al., 2022). Сучасні літературні огляди (Ates et al., 2022) підкреслюють, що разом із гаджетами змінюється і технологічний ландшафт, що дозволяє відкривати нові напрями їх практичного застосування. Ми маємо добре орієнтуватись в тому асортименті носимих пристроїв та застосунків, присутніх на ринку, щоб розуміти їх практичне значення та мати змогу імплементувати їх в свою діяльність.

Ми вже згадували можливості отримання інформації за рахунок смарт-окулярів і розумних лінз. Проте найбільшого розповсюдження набули різноманітні *смарт-годинники*,

трекери, що можуть моніторити показники пульсу, артеріального тиску, рівня насиченості киснем, фізичну активність, ефективність сну, передаючи інформацію до хмарних сервісів, звідки вона може бути використана для аналізу відповідною моделлю ШІ.

Сьогодні ми бачимо розвиток інтегративного підходу. Зокрема, в дослідженні Migliorelli et al. (2023) обговорюється поєднання штучного інтелекту та технологій машинного навчання в додатках для персоналізованого харчування. Одним із прикладів є *додаток «CarpeDiem»*, який використовує дані, зібрані з носимих пристроїв і анкет користувачів. Ці дані включають інформацію про фізичну активність, режими сну та харчові звички. Додаток надає персоналізовані рекомендації для покращення здорового способу життя. Пілотне дослідження продемонструвало ефективність додатку у стимулюванні довгострокових змін поведінки, що свідчить про те, що поєднання об'єктивних і суб'єктивних даних про здоров'я може покращити як залученість користувачів, так і самі результати. Дослідники роблять акцент на тому, що носимі сенсори, такі, як розумні годинники, можуть безперервно відстежувати показники здоров'я, надаючи зворотний зв'язок у режимі реального часу та підтримувати користувачів на шляху формування здорових звичок.

Паралельно з цим ми маємо приклади розширення вже звичного горизонту використання носимих сенсорних пристроїв. Одним із них є *переносний електрохімічний біосенсор NutriTrek* (Wang et al., 2022), розроблений для постійного аналізу поту на наявність різних метаболітів і поживних речовин, включаючи незамінні амінокислоти та вітаміни. Завдяки бездротовому способу передачі інформації, він забезпечує моніторинг потреб у нутрієнтах в режимі реального часу, демонструючи потенціал використання сенсорів для розробки ефективних персоналізованих планів харчування шляхом неінвазивного та зручного збору даних.

Загалом, носимі сенсорні пристрої вже дозволять збирати та аналізувати великі обсяги даних у реальному часі, що допомагає у прогнозуванні здоров'я, модифікації харчування та попередженні захворювань (Табл. 1.) (Stewart and Hughes, 2022).

Таблиця 1. Опис технологій збору даних в нутриціології

Посилання	Використаний датчик/пристрій	Вихідні дані датчика (вхід моделі/методу)	Застосування методу/моделі
Wilson-Barnes et al. (2022)	Леткі органічні сполуки	Дихання людини	Оцінка кількості поживних речовин (маркерів метаболічних процесів)
Aguilar et al. (2022)	Камера	RGB-зображення тарілки	Розпізнавання їжі
Azzimani et al. (2022)	Камера	RGBD-зображення прийому їжі	Персоналізація страв
Islam et al. (2023)	ЕЕГ (електроенцефалограма)	ЕЕГ сигнали	Вплив різних страв
Yang et al. (2022)	Мобільний пристрій	Генетичне тестування, фізичний огляд, стиль харчування, звички та звичаї, медична історія, дані про фізичні вправи	Індивідуальні рішення для харчування
Yang et al. (2023)	Мобільний пристрій, ДНК-набір	Анкета про спосіб життя, результати фізичного огляду, дані	Оцінка стану імунної системи, ризик дефіциту поживних

		ДНК	речовин
Yang et al. (2022)	Мобільний пристрій, ДНК-набір	Аналіз генетичних даних, дані про спосіб життя, результати фізичного огляду	Генетичний звіт, персоналізований звіт про харчування
Cunha et al. (2024)	Ваги для їжі, ваги для тіла, смарт годинники	Характеристики прийому їжі, фізичні активності, параметри тіла	Прогноз ІМТ, персоналізований зворотний зв'язок, відстеження цілей
Ribeiro et al. (2022)	Мобільний пристрій	Харчові вподобання, обмеження, харчові потреби	Система рекомендацій страв
Wu et al. (2022)	Камера	RGB-зображення прийому їжі	Класифікація їжі
Migliorelli et al. (2023)	Трекер активності	Кроки, фізична активність, пульс, кількість сну та його ефективність	Фізичні активності, кардіо активності, патерни сну, харчові звички
Wang et al. (2022)	NutriTrek	Вік, ІМТ	Моніторинг здоров'я, точне харчування
Khan et al. (2022)	Навушник-подібний пристрій	Звуки жування	Типи прийому їжі
Zamanillo-Campos et al. (2023)	Мобільний пристрій	Дані, отримані від пацієнтів	Персоналізовані короткі тексти
Martínez-Rodríguez et al. (2022)	Мобільний пристрій, трекер активності	Артеріальний тиск, вага, споживання води, фруктів та овочів, фізична активність	Персоналізовані нагадування, поради щодо поведінки, навчальні матеріали, відстеження прогресу

Джерело: Stewart and Hughes, 2022.

Б. Інші сенсорні пристрої.

Окрім носимих пристроїв, ми маємо змогу користуватись сенсорними технологіями, що не можуть бути віднесені до мобільних девайсів. Їх асортимент вражає, адже сюди ми можемо віднести не тільки прості *розумні ваги та виделки* а навіть *пристрої для зчитування та передачі сигналу електроенцефалограми (ЕЕГ) або комплектів ДНК*. Так, Wilson-Barnes et al. (2022) використали датчик летких органічних сполук (VOC) для аналізу дихання учасників дослідження у двох групах населення з харчовим ризиком: (і) дорослі з неякісною дієтою (менше трьох порцій фруктів і овочів на день) та (ii) дорослих із залізодефіцитною анемією. Результати аналізу згодом були використані для дослідження кореляції конкретних сполук між двома групами.

Цей напрям є дуже перспективним, однак процес отримання, аналізу та застосування даних є набагато складнішим і більш вартісним, порівняно з носимими сенсорами. Останні працюють переважно в автономному режимі, зрідка потребуючи простого сервісного обслуговування чи оновлення програмного забезпечення. Проте у випадку із не мобільними, або частково мобільними пристроями користувачі можуть зіткнутися з такими труднощами, як потреба відвідувати лікарню чи спеціалізовані установи.

Отже, у процесі розробки єдиного алгоритму використання різноманітних девайсів та інтеграції в систему персоналізованого харчування, ми маємо враховувати не тільки потребу в отриманні досить цінної інформації, а й суто практичні речі, описані вище.

4) Інтеграція даних про мікробіом.

Розвиток науки та технологій сприяв формуванню і розвитку прецизійного харчування, яке має враховувати унікальні характеристики будь якої людини, в тому числі, й особливості кишкового мікробіому. Мікробіота виконує різноманітні функції, маючи прямий чи опосередкований вплив практично на всі органи та системи нашого тіла. На рівні кишечника постійно відбувається взаємодія між представниками цієї мікроскопічної спільноти та макро- і мікронутрієнтами, що надходять у складі їжі. Тип дієти, зміни харчування та інші нутритивні чинники, в залежності від якості, сили і тривалості впливу, призводять до гострих або тривалих адаптивних змін кишкової мікробіоти. Відбувається цілий каскад біотичних та постбіотичних трансформацій, що мають вплив на травну, імунну, ендокринну, нервову та інші системи, змінюючи метаболічні параметри, ступінь засвоєння та використання поживних речовин та енергії. Дослідження показали, що певні мікроорганізми можуть сприяти кращому засвоєнню поживних речовин або, навпаки, підвищувати ризик розвитку запальних процесів у кишечнику. Враховуючи ці дані, алгоритми ШІ можуть рекомендувати певні продукти або дієти, які сприятимуть здоровому балансу кишкової мікробіоти та покращенню загального стану здоров'я.

Так, платформа *DayTwo* використовує аналіз мікробіому для пропонування персоналізованих дієтичних рекомендацій, що допомагають оптимізувати рівень глюкози у крові (Young & Harris, 2018).

Взаємодія на рівні осі «кишечник-мозок» призводить до впливу на харчову поведінку. Розуміння цих особливостей, їхньої динамічності та значущості, веде до необхідності змін харчової парадигми із залученням аналітичних можливостей ШІ. Алгоритми машинного навчання здатні не тільки обробляти великі інформаційні потоки, а й розпізнавати певні закономірності, доповнювати наші прогностичні можливості, в тому числі, на рівні ефектів різних типів дієтичних інтервенцій, опосередкованих змінами кишкового мікробіому (Saxena et al., 2024). Вони можуть допомогти врахувати й інші чинники впливу, серед яких рівень та тип фізичних навантажень, тип, гендерний показник, морбідний фон, лікарські засоби тощо. З цією метою продовжується розробка високопродуктивних технологій на основі індивідуалізованого мультиомічного профілювання, яке включає геноміку, метаболоміку та протеоміку. Моделі ШІ здатні аналізувати дані секвенування з метою класифікації та визначення кількості різних мікробних видів (Saxena et al., 2018). На цьому етапі залучення ШІ дозволяє використовувати сучасні алгоритми для ретельного вивчення різноманітних джерел даних, включаючи зразки калу, кров аналізи та медичні картки. Завдяки моделям машинного навчання ми маємо можливість вивчати мікробні метаболіти, сигнальні шляхи та взаємодію між мікробіомом і хазяїном (Shima et al., 2017).

Незважаючи на всі досягнення та перспективи, інтеграція штучного інтелекту в дослідження кишкового мікробіому з подальшою транслокацією на рівень розробки та персоніфікації дієтичних планів все ще залишається новаторським підходом. Однією з основних перешкод є необхідність створення великих біобанків мікроорганізмів із вивченими властивостями (Zhou et al., 2021). Ще однією проблемою є мультимодальна інтеграція даних, що передбачає об'єднання інформаційних потоків із різних джерел, таких, як медичні записи, результати генетичних досліджень тощо. Це уявляється дуже складним процесом, що потребує передових і досить потужних обчислювальних можливостей, конфіденційності зберігання та використання інформації про біологічні параметри людини, безпеки даних та навчання відповідної моделі ШІ. (Wang & Preininger, 2019). Окремим питанням є необхідність стандартизації даних. Адже розбіжності при зборі інформації, на рівні методології секвенування та попередньої обробки можуть призвести до упереджень, які вплинуть на точність і надійність передбачень ШІ (Lu et al., 2019). Мікробіоми, що вивчаються для подальшої обробки алгоритмами ШІ, мають бути репрезентативними для тієї категорії населення, яка у подальшому буде предметом створення відповідних рекомендацій (Parikh et al., 2019). Для подальшої ефективної розробки цього питання потрібна стандартизація процесів на всіх рівнях. Загалом, це перспективні питання, які диктують необхідність

підготовки людей із досвідом у сфері інформатики, статистики, біології, харчування, біомедицини, математики та цифрових технологій (Saxena et al., 2024). Альтернативним шляхом розвитку цього напрямку досліджень є генерація синтетичних даних із реалістичними варіаціями або використання змодельованих середовищ. Проте навіть в цьому випадку дуже складно врахувати потенційні зв'язки і взаємодії між різноманітними мультиомічними даними.

5) Врахування генетичних відмінностей.

Нутригеноміка, нутригенетика вже давно стали невід'ємною частиною науки про харчування, адже індивідуальні генетичні відмінності, особливості експресії тих чи інших генів впливають на взаємодію між людським організмом та їжею на рівні процесів травлення, асиміляції окремих нутрієнтів та харчового метаболізму в цілому (Singar et al., 2024). Алгоритми навчання штучних нейронних мереж здатні надавати персоналізовані харчові рекомендації на основі генетичного складу людини, поєднуючи генетичні дані з базами даних про харчування (Lee et al., 2019), що продемонстровано на рисунку 4.



Рис. 4. Алгоритм персоналізації харчування на основі аналізу ШІ генетичної інформації.

Джерело: Lee et al., 2019.

Наявні ключові дослідження дали нам змогу встановити не тільки сам факт взаємодії генів і дієти, але й розробити конкретні та дієві рекомендації для відповідних дієтичних інтервенцій. Зокрема, такі дієтичні моделі, як середземноморська та DASH дієта, що характеризуються високим рівнем споживання цільнозернових злаків, овочів і фруктів, із обмеженням надходження жирів, в першу чергу за рахунок насичених, продемонстрували потенціал для зниження ризику ожиріння у людей з високою генетичною схильністю, особливо тих, хто має відповідні алелі гену FTO rs9939609, rs1121980 та rs1421085. (Tan et al., 2022). Прикладів практичного значення використання генетичної інформації для модифікації харчування дедалі стає більше, найвідоміші з них представлені в таблиці 2. Це перспективний напрямок роботи, що потребує формування єдиної уніфікованої бази даних та подальших досліджень. Наразі дослідники вважають, що такий підхід особливо доречний у лікуванні хронічних захворювань, таких як ожиріння, серцево-судинні захворювання та діабет, де класичні дієтичні рекомендації продемонстрували свої обмеження.

Таблиця 2. Приклади можливостей персоналізації харчування на основі генетичних маркерів

Тип втручання	Цільова група	Генетичні маркери	Дієтичне коригування	Результати
Модифікація дієти	Особи з ожирінням	FTO, MC4R	Зниження споживання жирів, збільшення фізичної активності	Втрата маси тіла, покращення метаболічного здоров'я
Дієтичні добавки	Особи з дефіцитом фолієвої кислоти	MTHFR	Збільшення споживання фолієвої кислоти	Зменшення ризику серцево-судинних захворювань
Зміна способу життя	Люди з ризиком серцево-судинних захворювань	APOE	Модифікація споживання жирів, збільшення омега-3 жирних кислот	Покращення ліпідного профілю
Медична дієтотерапія	Діабетики	TCF7L2, PPARG	Контрольоване споживання вуглеводів	Кращий контроль рівня цукру в крові
Інтеграція технологій на основі ШІ	Загальна популяція	Різні	Персоналізовані плани харчування на основі генетичних тестів	Покращення загального здоров'я

Джерело: Singar et al., 2024.

б) Персоналізований підбір страв.

Відбувається постійна розробка та вдосконалення систем на основі ШІ, які б дозволяли здійснювати максимально індивідуалізований підбір страв, рецептур блюд, тощо. Такий підхід має враховувати нутритивні потреби людини, необхідність забезпечення збалансованого харчування, наявні алергічні реакції, харчову непереносимість, обмеження на основі патологічних станів, тощо. Водночас, рекомендовані страви, мають позитивно сприйматись людиною, бути варіативними, що дозволить дотриматись високого рівня комплаєнтності, врахувавши харчові уподобання людини. Персоніфікація дієти може вимагати заміни певного продукту на відповідну альтернативу в умовах збереження загальної енергетичної та поживної цінності раціону в цілому (Jules Vandeputte et al., 2023).

Робота в цьому напрямі із залученням алгоритмів глибокого машинного навчання вже дозволила отримати результат у вигляді можливості створення індивідуальних рекомендацій щодо рецептів (Tsolkidis et al., 2024). Вдалим прикладом практичного впровадження подібного рішення є *додаток для ресторанів MenuDecoder* (Hasan et al., 2022). Дослідження зручності використання цього додатку продемонструвало високу задоволеність користувачів дизайном і корисністю програми. Альтернативний додаток має назву *Parallel-CNN*. На думку дослідників він відповідає різноманітним вимогам користувачів, зокрема їхнім харчовим уподобанням, наявним алергічним реакціям, харчовій непереносимості тощо. Результати проведених досліджень показують, що *Parallel-CNN* перевершує інші моделі з точністю 95 %, прецизійністю 91 % і f1-метрикою 95 %, а також значенням 0,1872 для показника втрати моделі (Neha et al., 2023). Інші запропоновані системи мають певні відмінності, в основі яких лежить використання різних моделей ШІ, алгоритмів аналізу даних та рівень продуктивності в класифікації харчових продуктів і точності рецептурних рекомендацій.

Wang et al. (2022) запропонували модель, що розробляє рекомендації щодо рецептури страв на тиждень, з урахуванням обмежень користувачів і харчових потреб. Ribeiro et al. (2022) представили систему рекомендацій щодо рецептів, яка враховує алергію та культурні уподобання користувача. Подібні моделі підлягають подальшому вивченню, зокрема, з метою розуміння критеріїв розробки рекомендацій по створенню рецептур та підвищення впевненості кінцевого споживача (Li et al., 2023). Впроваджуються інноваційні методології у системи рекомендацій рецептів (Li et al., 2023), що дозволяє користувачам змінювати поведінкові моделі на основі змін харчових уподобань. Ще один додаток – «*Smart Cuisine*», використовує технології штучного інтелекту, включаючи модель Generative Pre-training Transformer (GPT), для надання персоналізованих рецептів і харчових порад, сприяючи сталим практикам приготування їжі (Kansaksiri et al., 2023). Таким чином, наявні можливості оцінки вхідних інформаційних параметрів із подальшою трансформацією у готові рецепти та пропонування страв, мають велике практичне значення, підвищуючи рівень персональної імплементації харчових рекомендацій, впливаючи на харчову поведінку і маючи певний рівень практичного застосування, зокрема у ресторанному бізнесі.

7) Аналіз поведінкових патернів.

Персоналізація дієтичних рекомендацій передбачає врахування не лише фізіологічних та фізичних параметрів, але й психологічних аспектів та стилю життя. Для досягнення максимального ефекту від дієтичних рекомендацій необхідно враховувати психологічний стан, рівень стресу, фізичну активність та інші фактори, які можуть впливати на харчову поведінку (Davis & Robinson, 2017). Наприклад, алгоритми ШІ можуть враховувати емоційний стан людини, що дозволяє коригувати рекомендації з урахуванням можливих змін в харчовій поведінці через стрес або інші психологічні чинники.

Загалом, важливість вивчення особливостей харчової поведінки складно переоцінити. У більшості досліджень така оцінка відбувається на підставі самозвітів, аналізу особливостей споживання їжі за останні 24-години, харчових щоденників і анкетування частоти прийому їжі. У такому випадку ми знов стикаємося з упередженістю та рядом обмежень через неточності асоційовані із «людським чинником» (Hiraguchi et al., 2023). Сучасні моделі ШІ шляхом аналізу інформації, отриманої з інтегрованих пристроїв, можуть виявляти регулярні харчові звички або відхилення від них, що допомагає нутриціологам краще розуміти поведінку клієнтів і надавати персоналізовані рекомендації.

Аналіз харчових щоденників із використанням можливостей ШІ може виявити тригери переривання прийому їжі (наприклад особливості споживання їжі, компанія), умови, що сприяють цьому (зменшення часу прийому їжі). Це може бути особливо корисним для відповідних груп ризику щодо порушень харчової поведінки за необхідності застосування нової дієтичної моделі, елімінаційної дієти тощо, коли на перших етапах за допомогою використання чат ботів з інтегрованим штучним інтелектом можна оцінити зміни харчової поведінки (Chew et al., 2023).

Використання ШІ дозволяє проводити визначення процесу прийому їжі в автоматичному режимі. Процес розпізнавання актів ковтання та жування може відбуватись за допомогою аналізу відеоматеріалів з камер. Це ще один крок на шляху розробки більш індивідуальних дієтичних рекомендацій, спрямованих на контроль маси тіла та корекцію харчових звичок (Schuller & Schuller, 2020).

Застосування сенсорних технологій, таких як спеціальні сенсори на обличчі, смарт годинники, дозволяє автоматично фіксувати рухи щелепи та інші дії, що вказують на процес харчування (жування, ковтання). Це дозволяє оцінювати швидкість і частоту прийому їжі, а також тривалість жування. Прикладом такої системи може бути *OpenPose* – готове програмне забезпечення, яке аналізує кількість укусів із фільмування (Qiu et al., 2019). Кількісна оцінка їжі, що була відкушена, може бути оцінена за допомогою датчиків ваги та акустичні датчиків (Mertes et al., 2020; Papapanagiotou et al., 2021). Подібні дослідження спрямовані на вивчення впливу швидкості споживання їжі у людей із ожирінням та іншими захворюваннями, а також розробку індивідуальних інтервенцій для корекції харчової поведінки.

Інше дослідження демонструє можливості вивчення харчової поведінки шляхом фіксації факту і часу жування, ковтання, що відображають процес споживання їжі, тривалість прийому їжі, та розпізнавання різних варіантів споживання їжі (наприклад, сидячи, під час ходьби тощо). Система, яку використовували з цією метою, включала мікрофон та сенсори руху (Khan et al., 2022). Зазначений підхід не надає безпосередньої інформації про склад їжі, а стосується визначення поведінкових порушень із можливістю відстеження ефективності подальшої корекції. Паралельно відбувається вивчення та порівняння ефективності застосування різних пристроїв, визначається їх поточна користь у досягненні відповідного результату. Проте загалом робиться висновок, що даний напрям потребує подальшого розвитку, удосконалення апаратної частини та програмного забезпечення, що, ймовірно, відбудеться у найближчі кілька років (Wang et al., 2022).

Персоналізовані рекомендації та інтервенції: ШІ також використовується для розробки систем, які можуть створювати персоналізовані рекомендації на основі аналізу харчової поведінки та дієтичних звичок. Це допомагає розробляти програми, які сприяють зміні поведінки на основі отриманих даних, наприклад, для запобігання переїданню або для збільшення відчуття насичення.

Віртуальна та доповнена реальність.

Серед перспективних напрямів також слід зазначити розвиток технологій віртуальної та доповненої реальності, які можуть використовуватися для навчання та інформування користувачів про здорове харчування. Такі технології можуть стати важливим інструментом для підвищення обізнаності та мотивації до здорового способу життя (Ramirez & Sullivan, 2021).

Розвиток віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR) у поєднанні з ШІ дозволяє створювати інтерактивні навчальні програми, які допомагають користувачам краще розуміти принципи здорового харчування та їхній вплив на організм. Наприклад, VR-програми можуть моделювати різні сценарії харчування та показувати, як ті чи інші продукти впливають на здоров'я. Це дозволяє зробити процес навчання більш захоплюючим та ефективним.

AR-додатки можуть використовуватися для миттєвого аналізу продуктів у магазині. За допомогою смартфона користувачі можуть отримувати інформацію про склад продуктів, їхню калорійність та поживні властивості. Це сприяє свідомому вибору продуктів та дотриманню здорового харчування.

Впровадження етичних стандартів.

Важливим аспектом розвитку ШІ у нутриціології є також впровадження етичних стандартів та забезпечення конфіденційності даних. Використання великих обсягів даних потребує розробки надійних механізмів захисту інформації, щоб забезпечити конфіденційність та безпеку даних користувачів. Крім того, необхідно враховувати етичні питання, пов'язані з використанням ШІ, такі, як забезпечення рівного доступу до медичних послуг та уникнення дискримінації. Дані про здоров'я не повинні використовуватися для дискримінації осіб при визначенні вартості страхування чи статусу зайнятості. Несанкціонований доступ до електронних медичних записів та їх неправильне використання викликають додаткові занепокоєння. Створення безпечного та суворо регульованого середовища для зберігання, управління та обміну даними є обов'язковим. Прозорість, інформована згода та безпека даних є важливими для підтримки довіри та захисту прав людей. Вирішення питання можливо лежить у площині застосування генеративних моделей, які дозволяють створювати синтетичні дані пацієнтів, що є реалістичними, але не пов'язаними з реальними особами (Yoon et al., 2020; Baowaly et al., 2019).

Також підкреслюється, що ШІ може допомогти вирішувати етичні питання, пов'язані з харчуванням та здоров'ям, забезпечуючи більш справедливий доступ до медичних послуг і підвищувати якість життя (Detopoulou et al., 2024). Наприклад, ШІ може допомогти виявляти та усувати нерівності у доступі до якісного харчування та медичних послуг для різних соціально-економічних груп.

Перспективи ШІ в нутриціології.

Загалом, за очікуваннями експертів, можливості ШІ у найближчі 40-50 років значно зростуть та будуть здатні перевершити людські (Owoc et al., 2021), цей тренд проілюстровано на рисунку 5.



Рис. 5. Тенденції в еволюції ШІ

Джерело: Owoc et al., 2021.

Триватиме інтеграція різноманітних баз даних, які, в свою чергу, будуть доповнюватись та вдосконалюватись. Із розвитком нутригенетики та нутригеноміки, отриманням нових знань про взаємодію мікробіому та нутрієнтів ми зможемо вийти на принципово новий рівень персоналізації рекомендацій щодо способу життя та харчування (Anderson and Brown, 2022). Потенційно, персоналізація зможе враховувати не тільки показники стану здоров'я та фізіологічні особливості людини, а й психологічні та соціальні аспекти (емоційний стан, рівень стресу, соціальне оточення, що впливають на харчову поведінку людини) (Parker & Nelson, 2023). Все більш поширеним стане використання мультимодальних даних (відео, інформація з носимих пристроїв), (Amugongo et al., 2023), що, з одного боку, дасть змогу покращити моніторинг стану здоров'я у реальному часі, а з іншого, створить умови до динамічної адаптації у відповідь на реальні зміни різних показників, таких, як глюкоза крові, артеріальний тиск, рівень фізичної активності та якість сну (Stewart and Hughes, 2022).

Також, перспективним виглядає в цілому інтеграція можливостей ШІ в систему охорони здоров'я в цілому (Adish et al., 2024). Алгоритм такого залучення може виглядати таким чином, як представлено на рисунку 6.

ШІ допоможе створювати нові, більш корисні та смачні продукти, що задовольнятимуть зростаючий попит на здорове та екологічно чисте харчування. Це включатиме розробку рослинних альтернатив м'ясу, продуктів з високим вмістом білка та низьким вмістом цукру, а також нових формул добавок і функціональних продуктів, які будуть здатні покращити здоров'я споживачів (Hall and Martin, 2021).

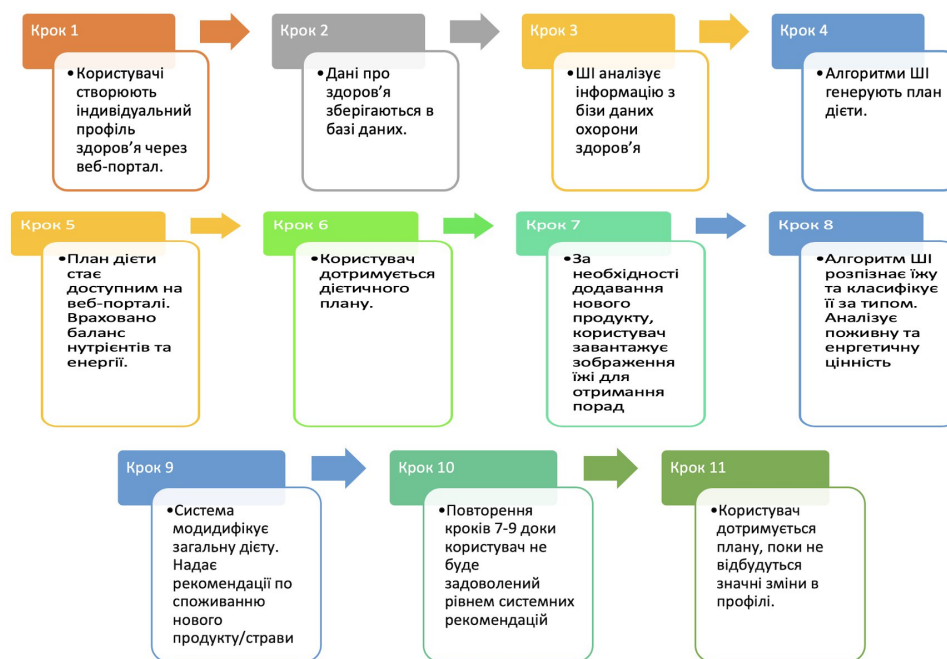


Рис. 6. Алгоритм створення та модифікації персоналізованого дієтичного плану із залученням можливостей штучного інтелекту
Джерело: Adish et al., 2024.

ВИСНОВКИ. Отже, ШІ вже сьогодні відіграє важливу роль у розвитку нутриціології, відкриваючи нові можливості для персоналізованого підходу до харчування та управління здоров'ям. Використання алгоритмів глибокого машинного навчання та інших методів аналізу даних дозволяє створювати більш точні та ефективні дієтичні рекомендації, впливати на профілактику та перебіг захворювань та оптимізувати здоров'я. Проте для подальшого розвитку необхідні нові дослідження та інновації, які дозволять інтегрувати різноманітні джерела даних та розробити більш комплексні моделі аналізу. Потрібно розробити та апробувати єдиний збалансований алгоритм практичної інтеграції можливостей ШІ в нутриціологію. Майбутні дослідження, керовані штучним інтелектом, повинні з самого початку включати такі етичні принципи, як прозорість, пояснення та конфіденційність.

Загалом перспективи розвитку ШІ в нутриціології є надзвичайно обнадійливими і можуть значно покращити якість життя та здоров'я людей у майбутньому. Інтеграція ШІ з новітніми технологіями, такими, як носимі пристрої, інтернет речей, віртуальна та доповнена реальність, створює нові можливості для моніторингу та управління здоров'ям. Важливим аспектом є також забезпечення конфіденційності та безпеки даних, що вимагає розробки надійних механізмів захисту інформації.

Подяки. Немає

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Abhari, K.A., Williams, B., Hafeez, Z., & Kazemi, M. (2021). Artificial Intelligence Applications in Assessing Dietary Intake: A Scoping Review. *Nutrients*, 13, 4105. <https://doi.org/10.3390/nu13124105>
- Bahirat, A. D., Dixit, B., & Dixit, A. (2024). Diet Consultation Using Artificial Intelligence. *Food Science and Technology*, 12(1), 24–47. <https://doi.org/10.13189/fst.2024.120103>
- Aguilar, E., Nagarajan, B., Remeseiro, B., & Radeva, P. (2022). Bayesian deep learning for semantic segmentation of food images. *Computers and Electrical Engineering*, 103, 108380. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108380>

- Nutrition research priorities - american society for nutrition. (б. д.). American Society for Nutrition. <https://nutrition.org/public-affairs/nutrition-research-agenda/>
- Amugongo, L. M., Kriebitz, A., Boch, A., & Lütge, C. (2022). Mobile computer vision-based applications for food recognition and volume and calorific estimation: A systematic review. *Healthcare*, 11(1), 59. <https://doi.org/10.3390/healthcare11010059>
- Anderson, J., & Brown, R. (2022). Artificial Intelligence in Nutrition Science: A Comprehensive Review. *Journal of Nutritional Health*, 10(2), 123-145.
- Theodore Armand, T. P., Nfor, K. A., Kim, J.-I., & Kim, H.-C. (2024). Applications of artificial intelligence, machine learning, and deep learning in nutrition: A systematic review. *Nutrients*, 16(7), 1073. <https://doi.org/10.3390/nu16071073>
- Ates, H.C., Nguyen, P.Q., Gonzalez-Macia, L., Morales-Narváez, E., Güder, F., Collins, J.J., & Dincer, C. (2022). End-to-End Design of Wearable Sensors. *Nature Reviews Materials*, 7, 887–907. <https://doi.org/10.1038/s41578-022-00460-x>
- Azzimani, K., Bihri, H., Dahmi, A., Azzouzi, S., & Charaf, M. E. H. (2022). An AI based approach for personalized nutrition and food menu planning. *V 2022 IEEE 3rd international conference on electronics, control, optimization and computer science (ICECOCS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/icecocs55148.2022.9983099>
- Baker, R., & Jackson, T. (2019). Reducing Chronic Disease Risk Through AI-Powered Diets. *Journal of Preventive Health*, 14(1), 99-116.
- Baowaly, M. K., Lin, C.-C., Liu, C.-L., & Chen, K.-T. (2018). Synthesizing electronic health records using improved generative adversarial networks. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(3), 228–241. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy142>
- Begum Kalyoncu Atasoy, Z., Avery, A., & Goktas, P. (2024). Artificial Intelligence-Powered Nutrition Strategies: A Focus on Vulnerable Populations. *Kompass Nutrition & Dietetics*, 23(1), 49-52. <https://10.1159/000538139>
- Brown, M., & Taylor, D. (2023). Wearable Devices and IoT in Nutrition Monitoring. *Journal of Connected Health*, 19(1), 88-104.
- Brown, A.W., Bohan Brown, M.M., & Allison, D.B. (2021). Using machine learning to personalize diet recommendations: A scoping review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 121, 1995-2011. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.05.004>
- Busad, A., Suchitha, G., Darshan Gowda, T., Lakshmi, S., & Shalini Gowda, K. (2023). Computer Vision based Food Recognition with Nutrition Analysis. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 11(1), 254-261. Retrieved at: <https://www.ijcrt.org/papers/IJCRT2301042.pdf>
- Campbell, R., & Foster, J. (2021). AI and Computer Vision in Food Analysis. *Journal of Food Safety and Quality*, 20(1), 99-115.
- Carter, N., & Miller, S. (2022). Integrating Genetic Data for Personalized Nutrition. *Journal of Genomics and Nutrition*, 9(3), 150-167.
- Chen, H., & Wang, Q. (2018). Machine Learning in Nutrition: Past, Present and Future. *Journal of Artificial Intelligence in Healthcare*, 7(2), 101-119.
- Chen, M., Dhingra, K., Wu, W., Yang, L., Sukthankar, R., & Yang, J. (2009). PFID: Pittsburgh fast-food image dataset. In *International Conference on Image Processing* (289-292). Cairo, Egypt. <https://10.1109/ICIP.2009.5413511>
- Chew, HSJ, Chew, NW, Loong, SSE, Lim, SL, Tam, WSW, Chin, YH, Chao, AM, Dimitriadis, GK, Gao, Y, So, JBY, Shabbir, A, & Ngiam, KY. (2024). Effectiveness of an Artificial Intelligence-Assisted App for Improving Eating Behaviors: Mixed Methods Evaluation. *Journal of Medical Internet Research*, 7, 26:e46036. <https://10.2196/46036>.
- Lozano, CP, Canty, EN, Saha, S, Broyles, ST, Beyl, RA, Apolzan, JW, Martin, CK. (2023). Validity of an Artificial Intelligence-Based Application to Identify Foods and Estimate Energy Intake Among Adults: A Pilot Study. *Current Developments in Nutrition*, 7(11), 102009. <https://10.1016/j.cdnut.2023.102009>.

- Coates, A.M., Siervo, M., & Lindley, M.R. (2020). Artificial intelligence and the future of nutritional science. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79, 425-430. <https://doi.org/10.1017/S0029665120006733>
- Collins, H., & Richardson, S. (2017). Integrating Diverse Data for Personalized Nutrition. *Journal of Integrative Health*, 6(4), 275-292.
- Côté, M., & Lamarche, B. (2021). Artificial intelligence in nutrition research: Perspectives on current and future applications. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 15, 1-8. <https://10.1139/apnm-2021-0448>
- Cunha, C., Duarte, P., & Oliveira, R. (2023). Nutrition Control System Based on Short-term Personal Demands. *Procedia Computer Science*, 224, 565-571. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.09.082>
- Davis, K., & Robinson, F. (2017). Deep Learning for Chronic Disease Management. *Journal of Healthcare Technology*, 8(2), 123-138.
- Detopoulou, P. et al. (2024). Artificial intelligence, nutrition, and ethical issues: A mini-review. *Clinical Nutrition Open Science*, 50, 46-56.
- Gibson, R. S. (2005). *Principles of Nutritional Assessment* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Farinella, G. M., Furnari, A., & Ragusa, F. (2022). Sistemi di Visione Artificiale Indossabili in Ambienti Industriali. In *Ital-IA Convegno Nazionale CINI sull'Intelligenza Artificiale* Roma.
- Gopalan, H.S., & Jayaraman, R. (2020). A review of the applications of artificial intelligence in dietetics. *Journal of the American Dietetic Association*, 120, 962-972. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2020.02.014>
- Hall, K., & Martin, G. (2021). The Future of AI in Nutritional Science. *Journal of Advanced Nutritional Studies*, 16(3), 199-216.
- Hasan, W. U., K. Tuz Zaman, M. S. A. T. Zadeh and J. Li (2022). Eat This, Not That! – a Personalised Restaurant Menu Decoder That Helps You Pick the Right Food. In *International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)* (pp. 43-48). Genoa, Italy. <https://10.1109/HealthCom54947.2022.9982770>
- Hiraguchi, H, Perone, P, Toet, A, Camps, G, & Brouwer, A-M. (2023). Technology to Automatically Record Eating Behavior in Real Life: A Systematic Review. *Sensors*, 23(18), 7757. <https://doi.org/10.3390/s23187757>
- Hoang, YN, Chen, Y, Ho, DKN, et al. (2023). Consistency and Accuracy of Artificial Intelligence for Providing Nutritional Information. *JAMA Network Open*, 6(12):e2350367. <https://10.1001/jamanetworkopen.2023.50367>
- Islam, T., Joyita, A. R., Alam, M. G. R., Mehedi Hassan, M., Hassan, M. R. and Gravina, R., (2023). Human-Behavior-Based Personalized Meal Recommendation and Menu Planning Social System. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 10, no. 4, 2099-2110. <https://10.1109/TCSS.2022.3213506>
- Johnson, A., & White, P. (2019). Historical Perspectives on the Use of AI in Nutrition. *Journal of Nutrition and Food Technology*, 14(1), 45-59.
- Johnson, R.K., Foster, G.D., Gallagher, K.I., & Waite, R.R. (2021). The potential of AI-driven personalized nutrition for addressing public health challenges: A review. *Nutrition Reviews*, 79, 410-425. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa077>
- Jones, J.L., Wilson, M.L., Williams, A.C., & Williams, M.T. (2021). Integrating AI into dietary interventions: Opportunities and challenges. *Journal of Nutritional Science*, 10, e31. <https://doi.org/10.1017/jns.2021.26>
- Joshi, S., Bisht, B., Kumar, V. et al. (2024). Artificial intelligence assisted food science and nutrition perspective for smart nutrition research and healthcare. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 4, 86-101. <https://doi.org/10.1007/s43393-023-00200-4>
- Vandeputte, J, Herold, P, Kuslii, M, Viappiani, P, Muller, L, Martin, C, Davidenko, O, Delaere, F, Manfredotti, C, Cornuéjols, A, & Darcel, N. (2023). Principles and Validations of an Artificial Intelligence-Based Recommender System Suggesting Acceptable Food Changes. *The Journal of Nutrition*, 153(2), 598-604. <https://doi.org/10.1016/j.tjn.2022.12.022>

- Kansaksiri, P., Panomkhet, P., & Tantisuwichwong, N. (2023). Smart Cuisine: Generative Recipe & ChatGPT Powered Nutrition Assistance for Sustainable Cooking. *Procedia Computer Science*, 225, 2028–2036.
- Kaushal, S., Tammineni, D. K., Rana, P., Sharma, M., Sridhar, K., & Chen, H.-H. (2024). Computer vision and deep learning-based approaches for detection of food nutrients/nutrition: New insights and advances. *Trends in Food Science & Technology*, 146, 104408. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104408>
- Kavita, M. S. (2021). Application of Artificial Intelligence on Nutrition Assessment and Management. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 8, 170-174.
- Kazanskiy, N. L., Khonina, S. N., & Butt, M. A. (2023). Smart Contact Lenses-A Step towards Non-Invasive Continuous Eye Health Monitoring. *Biosensors*, 13(10), 933. <https://doi.org/10.3390/bios13100933>
- Kelly, J.T., Collins, P.F., McCamley, J., Ball, L., Roberts, S., & Campbell, K.L. (2021). Digital disruption of dietetics: Are we ready? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 34, 134–146.
- Khamis, M.M., Aglave, R., & Khamis, A. (2021). AI-driven solutions in dietetics: Emerging trends and applications. *Nutrition and Metabolic Insights*, 14, 117863882110094. <https://doi.org/10.1177/11786388211009466>
- Khan, M. I., Acharya, B., & Chaurasiya, R. K. (2022). iHearken: Chewing sound signal analysis based food intake recognition system using Bi-LSTM softmax network. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 221, 106843. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106843>
- Khan, M.I., Acharya, B., & Chaurasiya, R.K. (2022). iHearken: Chewing Sound Signal Analysis Based Food Intake Recognition System Using Bi-LSTM Softmax Network. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 221, 106843
- Khan, M., & Agarwal, S., & Vatsa, M., & Singh, R., & Singh, K. (2023). NutriAI: AI-Powered Child Malnutrition Assessment in Low-Resource Environments. In *Proceedings of the Thirty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-23), Special Track on AI for Good (Projects)* (pp. 6378- 6385). <https://doi.org/10.24963/ijcai.2023/708>.
- Kim, S., & Park, J. (2022). Virtual and Augmented Reality for Nutrition Education. *Journal of Interactive Health*, 14(2), 156-173.
- Kirk, D., Kok, E., Tufano, M., Tekinerdogan, B., Feskens, E.J.M., & Camps, G. (2022). Machine Learning in Nutrition Research. *Advances in Nutrition*, 13, 2573–2589.
- Lee, A, Mavaddat, N, Wilcox, AN, et al. (2019). BOADICEA: a comprehensive breast cancer risk prediction model incorporating genetic and nongenetic risk factors. *Genetics in Medicine*, 21(8), 1708-1718. <https://10.1038/s41436-018-0406-9>
- Lewis, T., & Lee, K. (2023). Personalized Diets Using AI: Benefits and Challenges. *Journal of Health Informatics*, 18(1), 56-72.
- Li, T, Wei, W, Xing, S, Min, W, Zhang, C, & Jiang, S. (2023). Deep Learning-Based Near-Infrared Hyperspectral Imaging for Food Nutrition Estimation. *Foods*, 12(17), 3145. <https://doi.org/10.3390/foods12173145>
- Li, D., Zaki, M.J., & Chen, C. (2023). Health-Guided Recipe Recommendation over Knowledge Graphs. *Journal of Web Semantics*, 75, 100743.
- Liang, Y., & Li, J. (2017). Computer vision-based food calorie estimation: dataset, method, and experiment. *arXiv:1705.07632*
- Liu, S., Liu, Y., & Han, S. (2016). Calorie Mama: A Mobile-based Food Recognition System for Dietary Tracking.
- Lo, Frank P-W., Qiu, J., Wang, Z., Chen, J., Xiao, B., Yuan, W., ... & Lo, B. (2023). Dietary Assessment with Multimodal ChatGPT: A Systematic Analysis. *arXiv preprint arXiv:2312.08592*.
- Lu, Y, Stathopoulou, T, Vasiloglou, MF, et al. (2019). An Artificial Intelligence-Based System for Nutrient Intake Assessment of Hospitalised Patients. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, (pp. 5696-5699). <https://10.1109/EMBC.2019.8856889>

- Lu, Y, Stathopoulou, T, Vasiloglou, MF, Christodoulidis, S, Blum, B, Walser, T, Meier, V, Stanga, Z, Mougiakakou, SG. (2019). An Artificial Intelligence-Based System for Nutrient Intake Assessment of Hospitalised Patients. In *41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, (pp. 5696-5699). Berlin, Germany. <https://10.1109/EMBC.2019.8856889>
- Lucassen, D.A., Lasschuijt, M.P., Camps, G., Van Loo, E.J., Fischer, A.R.H., de Vries, R.A.J., Haarman, J.A.M., Simons, M., de Vet, E., Bos-de Vos, M., et al. (2021). Short and Long-Term Innovations on Dietary Behavior Assessment and Coaching: Present Efforts and Vision of the Pride and Prejudice Consortium. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 7877. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157877>
- Ma, L., Chen, H., Wu, Y., Yuan, H., & Xu, F. (2021). The Role of Artificial Intelligence in Nutrition Research: A Review of Current Applications and Future Directions. *Frontiers in Nutrition*, 8, 663228. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.663228>
- Martin, CK, Kaya, S, & Gunturk, BK. (2009). Quantification of food intake using food image analysis. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2009:6869-72. <https://10.1109/IEMBS.2009.5333123>
- Martinez, A., & Clark, D. (2016). AI in Personalized Treatment Plans. *Journal of Medical Informatics*, 10(3), 245-262.
- Martínez-Rodríguez, A, Martínez-Olcina, M, Mora, J, Navarro, P, Caturla, N, & Jones, J. (2022). New App-Based Dietary and Lifestyle Intervention on Weight Loss and Cardiovascular Health. *Sensors*, 22(3):768. <https://doi.org/10.3390/s22030768>
- Matheny, ME, Whicher, D, Thadaney Israni, S. (2020). Artificial Intelligence in Health Care: A Report From the National Academy of Medicine. *Journal of the American Medical Association*, 323(6):509-510. <https://10.1001/jama.2019.21579>
- Mayo, RC, & Leung, J. (2018). Artificial intelligence and deep learning-Radiology's next frontier? *Clinical Imaging*, 49, 87-88. <https://10.1016/j.clinimag.2017.11.007>
- Mc Ginnis, JM, Williams-Russo, P, & Knickman, JR. (2002). The case for more active policy attention to health promotion. *Health affairs (Millwood)*, 21(2), 78-93. <https://10.1377/hlthaff.21.2.78>
- Mertes, G., Ding, L., Chen, W., Hallez, H., Jia, J., & Vanrumste, B. (2020). Measuring and localizing individual bites using a sensor augmented plate during unrestricted eating for the aging population. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24, 1509–1518.
- Haman, M, Školnik, M, Lošťák, & M. (2024). AI dietician: Unveiling the accuracy of ChatGPT's nutritional estimations. *Nutrition*, 119, 112325. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.112325>
- Migliorelli, C., Ros-Freixedes, L., Gomez-Martinez, M., Sistach-Bosch, L., & Orte, S. (2023). Carpediem: Investigating the Interactions of Health Pillars to Design Holistic Recommendations for Achieving Long-Term Changes in Lifestyle Behaviours. In: *Arai, K. (eds) Intelligent Computing. SAI 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 711. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37717-4_91
- Miyazawa, T. et al. (2022). Artificial intelligence in food science and nutrition: a narrative review. *Nutrition Reviews*, 80(12), 2288-2300. doi:10.1093/nutrit/nuad133
- Moore, D., & Adams, L. (2021). Real-Time Dietary Recommendations Using AI. *Journal of Real-Time Health Monitoring*, 12(4), 89-106.
- Naja, F., Taktouk, M., Matbouli, D. et al. (2024). Artificial intelligence chatbots for the nutrition management of diabetes and the metabolic syndrome. *Eur J Clinical Nutrition*, 78, 887–896. <https://doi.org/10.1038/s41430-024-01476-y>
- Neha, K., P. Sanjan, S. Hariharan, S. Namitha, A. Jyoshna and A. B. Prasad (2023). Food Prediction based on Recipe using Machine Learning Algorithms. In *Second International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS)*, pp. 411-416. Trichy, India, <https://10.1109/ICAISS58487.2023.10250758>
- Nutritional Cancer Institute (2024). URL: <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/nutritionist>

- Olivera, D., Sampaio, C., Lima, T., & Ramos, L. (2021). Machine Learning in Nutrition Research: Algorithms and Applications. *Nutrition Research Reviews*, 34, 295-306. URL: <https://doi.org/10.1017/S0954422412000174>
- Owoc, M. L., Sawicka, A., & Weichbroth, P. (2021). Artificial Intelligence Technologies in Education: Benefits, Challenges and Strategies of Implementation. In M. L. Owoc, & M. Pondel (Eds.), *Artificial Intelligence for Knowledge Management* (pp. 37-58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85001-2_4
- Papapanagiotou, V., Ganotakis, S., & Delopoulos, A. (2021). Bite-weight estimation using commercial ear buds. In *Proceedings of the 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 7182–7185). Guadalajara, Jalisco, Mexico.
- Parikh, RB, Teeple, S, & Navathe, AS. (2019). Addressing Bias in Artificial Intelligence in Health Care. *Journal of the American Medical Association*, 322(24), 2377-2378. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.18058>
- Parker, J., & Nelson, E. (2023). Comprehensive Models for Disease Prediction Using AI. *Journal of Computational Medicine*, 17(1), 67-82.
- Patel, S., & Kumar, R. (2017). Deep Learning for Personalized Nutrition: A Review. *Journal of Computational Health*, 5(3), 211-230.
- Qiu, J., F. P., Lo, W. and Lo, B. (2019). Assessing Individual Dietary Intake in Food Sharing Scenarios with a 360 Camera and Deep Learning. In *IEEE 16th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (pp. 1-4). Chicago, IL, USA. <https://doi.org/10.1109/BSN.2019.8771095>
- Rahmath Nisha, S., Aarthi, M., Shyamala, C., Pavithra, M., Vallipriyadharshini, K., & Raj, B.S. (2023). Intelligent Nutrition Assistant Application. In *Proceedings of the 2023 12th International Conference on Advanced Computing (ICoAC)* (pp. 1–6). Chennai, India.
- Ribeiro, D, Barbosa, T, Ribeiro, J, Sousa, F, Vieira, EF, Silva, M, & Silva, A. (2022). SousChef System for Personalized Meal Recommendations: A Validation Study. *Applied Sciences*, 12(2), 702. <https://doi.org/10.3390/app12020702>
- Roberts, M., & Green, J. (2016). Early Applications of AI in Nutritional Analysis. *Journal of Food and Nutrition Research*, 11(2), 85-102.
- Rokhva, S., Teimourpour, B., & Soltani, A. H. (2024). Computer Vision in the Food Industry: Accurate, Real-time, and Automatic Food Recognition with Pretrained MobileNetV2. *arXiv preprint arXiv:2405.11621*.
- Safitri, S., Mantoro, T., Bhakti, M.A.C., & Wandy, W. (2023). Cooking and Food Information Chatbot System Using GPT-3. In *Proceedings of the 2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)* (pp. 1–6). Kuala Lumpur, Malaysia.
- Sak, J, & Suchodolska, M. (2021). Artificial Intelligence in Nutrients Science Research: A Review. *Nutrients*, 13(2), 322. <https://doi.org/10.3390/nu13020322>
- Salinari, A., Machi, M., Armas Diaz, Y., Cinciosi, D., Qi, Z., Yang, B., Ferreira Cotorruelo, M.S., Villar, S.G., Dzul Lopez, L.A., Battino, M., et al. (2023). The Application of Digital Technologies and Artificial Intelligence in Healthcare: An Overview on Nutrition Assessment. *Diseases*, 11, 97.
- Sanders, P., & Ross, M. (2020). Spectroscopy and AI in Food Composition Analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(3), 211-229.
- Saxena, R, Saxena, RR, & Saxena, AR. (2018). Microbiomics in the Molecular Era: A Bird's Eye View into the Future of Personalized Medicine. *Acta Scientific Microbiology*, 1(8), 34-39.
- Saxena, R., Sharma, V., Saxena, A. R., & Patel, A. (2024). Harnessing AI and Gut Microbiome Research for Precision Health. *Journal of Artificial Intelligence General Science (JAIGS)*, 74–88. <https://doi.org/10.60087/jaigs.v3i1.68>
- Schuller, D.M., & Schuller, B.W. (2020). The Challenge of Automatic Eating Behaviour Analysis and Tracking. In *Costin, H., Schuller, B., Florea, A. (eds) Recent Advances in Intelligent*

- Assistive Technologies: Paradigms and Applications. Intelligent Systems Reference Library.* (Vol 170). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30817-9_8
- Sen, R., Karthikeyan, K., Prabhakar, P., Vishwakarma, J., Gupta, G., Mishra, S., Mishra, A., Chaurasia, J., Hashmi, S. A. R., Mondal, D., Solanki, P., Srivastava, A., Dhand, C., & Dwivedi, N. (2022). Fast Tracking of Adulterants and Bacterial Contamination in Food via Raman and Infrared Spectroscopies: Paving the Way for a Healthy and Safe World. *Sensors & Diagnostics*, 1. <https://10.1039/D1SD00046B>
- Shajari, S., Kuruvinashetti, K., Komeili, A., Sundararaj, U. (2023). The Emergence of AI-Based Wearable Sensors for Digital Health Technology: A Review. *Sensors*, 23(23), 9498. <https://doi.org/10.3390/s23239498>
- Sharma, V., Sharma, V., Khan, A., Wassmer, DJ., Schoenholtz, M.D., Hontecillas, R., Bassaganya-Riera, J., Z. and R. and Abedi, V. (2020). Malnutrition, Health and the Role of Machine Learning in Clinical Setting. *Frontiers in Nutrition*, 7, 44. <https://10.3389/fnut.2020.00044>
- Sharma, S. K., & Gaur, S. (2024). Optimizing Nutritional Outcomes: The Role of AI in Personalized Diet Planning. *International Journal for Research Publication and Seminar*, 15(2), 107–116. <https://doi.org/10.36676/jrps.v15.i2.15>
- Shima, H., Masuda, S., Date, Y., et al. (2017). Exploring the Impact of Food on the Gut Ecosystem Based on the Combination of Machine Learning and Network Visualization. *Nutrients*, 9(12), 1307. doi:10.3390/nu9121307
- Singar, S., Nagpa, R., Arjmandi, BH, & Akhavan, NS. (2024). Personalized Nutrition: Tailoring Dietary Recommendations through Genetic Insights. *Nutrients*, 16(16), 2673. <https://doi.org/10.3390/nu16162673>
- Singh, S., Mishra, S., Rani, R., & Gupta, P.K. (2021). Role of AI in personalized nutrition and precision medicine: Current insights and future directions. *Frontiers in Nutrition*, 8, 748589. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.748589>
- Smith, L., & Thompson, M. (2021). The Role of AI in Personalized Nutrition. *Journal of Medical Nutrition*, 15(3), 223-245.
- Sonkusale, S. (2022). Smart Threads for Tissue-Embedded Bioelectronics. In *Proceedings of the 2022 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC)* (pp. 1–7). Newport Beach, CA, USA.
- Sosa-Holwerda, A., Park, O-H, Albracht-Schulte, K, Niraula, S, Thompson, L, & Oldewage-Theron, W. (2024). The Role of Artificial Intelligence in Nutrition Research: A Scoping Review. *Nutrients*, 16(13), 2066. <https://doi.org/10.3390/nu16132066>
- Stewart, L., Hughes, G. (2022). AI for Real-Time Health Monitoring and Recommendations. *Journal of Mobile Health*, 13(2), 112-130.
- Miyazawa, T, Hiratsuka, Y, Toda, M, Hatakeyama, N, Ozawa, H, Abe, C, Cheng, TY, Matsushima, Y, Miyawaki, Y, Ashida, K, Iimura, J, Tsuda, T, Bushita, H, Tomonobu, K, Ohta, S, Chung, H, Omae, Y, Yamamoto, T, Morinaga, M, Ochi, H, Nakada, H, Otsuka, K, & Miyazawa, T. (2022). Artificial intelligence in food science and nutrition: a narrative review. *Nutrition Reviews*, Volume 80, Issue 12, 2288–2300. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac033>
- Takahashi, C., Matsushita, M., & Yamanishi, R. (2023). Exploration Cycle Finding a Better Dining Experience: A Framework of Meal-Plates. *Procedia Computer Science*, 225, 2902–2911.
- Tan, P. Y., Moore, J. B., Bai, L., Tang, G., & Gong, Y. Y. (2022). In the context of the triple burden of malnutrition: A systematic review of gene-diet interactions and nutritional status. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(11), 3235–3263. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131727>
- Theodore Armand, TP, Nfor KA, Kim, J-I, & Kim, H-C. (2024). Applications of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Nutrition: A Systematic Review. *Nutrients*, 16(7):1073. <https://doi.org/10.3390/nu16071073>
- Thomas, D.M., Kleinberg, S., Brown, A.W., Crow, M., Bastian, N.D., Reisweber, N., Lasater, R., Kendall, T., Shafto, P., Blaine, R., et al. (2022). Machine learning modeling practices to support the principles of AI and ethics in nutrition research. *Nutrition & Diabetes*, 12, 48.

- Topol, E.J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56. <https://10.1038/s41591-018-0300-7> 66
- Hashimoto, DA, Rosman, G, Rus, D, Meireles, OR. (2018). Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Annals of Surgery*, 268(1):70-76. <https://10.1097/SLA.0000000000002693>
- Tsolakidis, D, Gymnopoulos, LP, & Dimitropoulos, K. (2024). Artificial Intelligence and Machine Learning Technologies for Personalized Nutrition: A Review. *Informatics*, 11, 62. <https://10.3390/informatics11030062>
- Turner, J., & Morgan, L. (2018). Automation in Food Processing with AI. *Journal of Food Technology*, 15(3), 183-198.
- Kakani, V, Nguyen, VH, Kumar, BP, Kim, H, & Pasupuleti, VR. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100033>.
- Vitolins, M.Z., & Case, T.L. (2020). What Makes Nutrition Research So Difficult to Conduct and Interpret? *Diabetes Spectrum*, 33, 113–117.
- Wahl, B., Cossy-Gantner, A., Germann, S., & Schwalbe, N.R. (2018). Artificial intelligence (AI) and global health: How can AI contribute to health in resource-poor settings? *BMJ Global Health*, 3, e000798.
- Wang, F, & Preininger, A. (2019). AI in Health: State of the Art, Challenges, and Future Directions. *Yearbook of Medical Informatics*, 28(1), 16-26. <https://10.1055/s-0039-1677908>
- Wang, L., Allman-Farinelli, M., Yang, J.-A., Taylor, J.C., Gemming, L., Hekler, E., & Rangan, A. (2022). Enhancing Nutrition Care Through Real-Time, Sensor-Based Capture of Eating Occasions: A Scoping Review. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.852984>
- Wang, M., Yang, Y., Min, J., Song, Y., Tu, J., Mukasa, D., Ye, C., Xu, C., Heflin, N., McCune, J.S., et al. (2022). A Wearable Electrochemical Biosensor for the Monitoring of Metabolites and Nutrients. *Nature Biomedical Engineering*, 6, 1225–1235.
- Wang, S., Xia, K., Yang, Y., Qiu, R., Qi, Y., Miao, Q., Xie, W., & Liu, T. A. (2022). Recommender System for Healthy Food Choices Based on Integer Programming. In *Advances in Transdisciplinary Engineering*; Chen, C.-H., Scapellato, A., Barbiero, A., Korzun, D.G., Eds.; IOS Press: Amsterdam, The Netherlands.
- Watkins, B., Odallo, L., & Yu, J. (2024). Artificial intelligence for the practical assessment of nutritional status in emergencies. *Expert Systems*, 41, e13550.
- West, D.J., Turner, A., Hughes, G., & Jeukendrup, A.E. (2020). Personalized nutrition using artificial intelligence: A review. *Nutrients*. 12, 456. <https://doi.org/10.3390/nu12020456>
- Wilson-Barnes, S, Pongcharoenyong, L, Gymopoulos, L, et al. (2022). The utility of breath volatile organic compound (VOC) sampling as a biomarker of sub-optimal nutritional status: a UK pilot study. *Proceedings of the Nutrition Society*. 81(OCE4):E90. <https://10.1017/S0029665122001197>
- Wright, B., & Allen, C. (2019). Portable Devices for Food Safety Using AI. *Journal of Food Safety Technology*, 18(2), 145-162.
- Wu, H. et al. (2022). A Visually-Aware Food Analysis System for Diet Management. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)* (pp. 1-1). Taipei City, Taiwan. <https://10.1109/ICMEW56448.2022.9859471>
- Xia, Y., Khamis, M., Fernandez, F. A., Heidari, H., Butt, H., Ahmed, Z., Wilkinson, T., & Ghannam, R. (2022). State-of-the-Art in Smart Contact Lenses for Human-Machine Interaction. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10180151/1/State-of-the-Art%20in%20Smart%20Contact%20Lenses%20for%20Human-Machine%20Interaction.pdf>
- Yang, J. (2022). Genetic Data Analysis and Business Process Management Platform for Personalized Nutrition Service. In: *Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C., Garau, C. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2022 Workshops. Lecture Notes in*

- Computer Science*. vol 13381. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7_40
- Yang, J. (2023). Using nutrigenomics to guide personalized nutrition supplementation for bolstering immune system. *Health Information Science and Systems*, 11, 4. <https://doi.org/10.1007/s13755-022-00208-5>
- Yang, S., Chen, M., Pomerleau, D., and Sukthankar, R. (2010). Food recognition using statistics of pairwise local features. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5539907>
- Yera, R., Alzahrani, A.A., & Martínez, L. (2022). Exploring Post-Hoc Agnostic Models for Explainable Cooking Recipe Recommendations. *Knowledge-Based Systems*, 251, 109216.
- Yoon, J., Drumright, LN, & van der Schaar, M. (2020). Anonymization Through Data Synthesis Using Generative Adversarial Networks (ADS-GAN). *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(8), 2378-2388. <https://10.1109/JBHI.2020.2980262>
- Young, E., & Harris, B. (2018). AI in Disease Prediction: Applications in Nutrition. *Journal of Predictive Medicine*, 6(3), 200-219.
- Eskin, Yu, and Mihailidis, A. (2012). An Intelligent Nutritional Assessment System. AAAI Technical report FS-12-01. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, pp 2-6.
- Zamanillo-Campos, R, Fiol-deRoque, MA, Serrano-Ripoll, MJ, Mira-Martínez, S, & Ricci-Cabello, I. (2023). Development and evaluation of DiabeText, a personalized mHealth intervention to support medication adherence and lifestyle change behaviour in patients with type 2 diabetes in Spain: A mixed-methods phase II pragmatic randomized controlled clinical trial. *International Journal of Medical Informatics*, 176, 105103. <https://10.1016/j.ijmedinf.2023.105103>
- Zhou, T, Wang, M, Ma, H, Li, X, Heianza, Y, & Qi, L. (2021). Dietary Fiber, Genetic Variations of Gut Microbiota-derived Short-chain Fatty Acids, and Bone Health in UK Biobank. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 106(1), 201-210. <https://10.1210/clinem/dgaa740>
- Zuhair, V., Babar, A., Ali, R., Oduoye, M.O., Noor, Z., Chris, K., Okon, I.I., & Rehman, L.U. (2024). Exploring the Impact of Artificial Intelligence on Global Health and Enhancing Healthcare in Developing Nations. *Journal of Primary Care & Community Health*, 15, 21501319241245847.
- Zukowska, J., Matuszewski, T., Gacek, M., & Sadowska, D. (2020). The use of artificial intelligence in dietetics-current state and potential applications. *Nutrients*, 3619. <https://doi.org/10.3390/nu12123619>

Отримано 14.10.2024 р., прийнято до друку 15.01.2025 р.