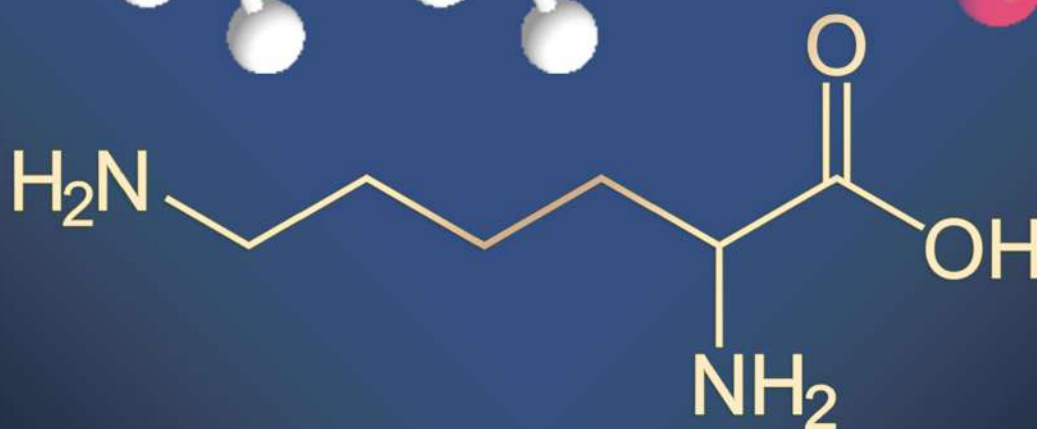


Makhynko V.M., Sharan A.V., Makhynko L.V.

DIETARY PROTEIN: PHYSIOLOGICAL NEED AND BIOLOGICAL VALUE



2024

Monograph

*SW*World

Germany

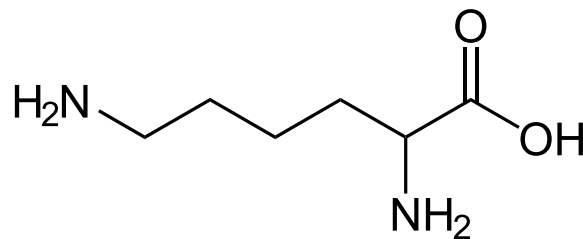


Makhynko V. M., Sharan A. V., Makhynko L. V.
Махинько В. М., Шаран А. В., Махинько Л. В.

**DIETARY PROTEIN:
PHYSIOLOGICAL NEED AND BIOLOGICAL VALUE**
*ХАРЧОВИЙ БІЛОК:
ФІЗІОЛОГІЧНА ПОТРЕБА І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ*

In internationalen wissenschaftlich-geometrischen Datenbanken enthalten
Included in International scientometric databases

MONOGRAPH
МОНОГРАФІЯ



ScientificWorld-Net Akhat AV
Karlsruhe 2024

Authors / Автори:

Makhynko Valerii Mykolaiovych / Махинько Валерій Миколайович
Sharan Andrii Vasylovych / Шаран Андрій Васильович
Makhynko Liudmyla Vasylivna / Махинько Людмила Василівна

Dietary protein: physiological need and biological value: Monograph.
Makhynko V. M., Sharan A. V., Makhynko L. V., Karlsruhe, 2024. 120 p.
Monographic series «Innovative Science, Education, Manufacturing and Transport».
Book 12. 2024.

Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність:
Монографія. Махинько В. М., Шаран А. В., Махинько Л. В.
Карлсруе, 2024. 120 с.
Серія монографій «Innovative Science, Education, Manufacturing and
Transport». Книга 12. 2024.

The monograph generalizes the results of resolutions of FAO/WHO consultative meetings (1957–2014) regarding the establishment of protein consumption levels and the assessment of its quality, as well as the results of the authors' work in this field. It provides an intelligible description of both traditional and modern medical and biological methods of assessing the quality of the protein component of food products and diets, the advantages of calculation methods and their types. Using numerous examples, it shows the principles and sequence of calculating the biological value of both individual food components and their mixtures. The chronology of changes in the formula of reference protein and modern recommendations regarding its composition are considered.

The monograph will be useful for scientists, specialists in the field of nutritional science and food industry, who require generalized modern information on the assessment of the protein component of human nutrition.

Keywords: protein, nutrition, physiological need, quality, biological value, calculation, assessment methods.

У монографії узагальнено результати рішень консультативних зборів FAO/ВООЗ (1957–2014 рр.) щодо встановлення рівнів споживання білка та оцінювання його якості, а також напрацювання авторів у цій сфері. Представлено доступний опис як традиційних, так і сучасних медико-біологічних методик оцінювання якості білкової складової харчових продуктів і раціонів, наведено переваги розрахункових методів та їх різновиди. На численних прикладах показано принципи і послідовність обчислення біологічної цінності як окремих компонентів їжі, так і їх сумішей. Розглянуто хронологію зміни формули еталонного білка і сучасні рекомендації щодо його складу.

Монографія буде корисною науковцям, фахівцям у галузі нутриціології та харчової промисловості, що потребують узагальненої сучасної інформації щодо оцінювання білкової складової харчування людини.

Ключові слова: білок, харчування, фізіологічна потреба, якість, біологічна цінність, розрахунок, методи оцінювання.

ISBN 978-3-98924-014-8

DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

Published by:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@promonograph.org

site: <https://de.promonograph.org>

Copyright © Scientific texts, Authors, 2024

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024



ABOUT THE AUTHORS / ПРО АВТОРІВ

1. *Makhynko Valerii Mykolaiovych*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies

ORCID: 0000-0003-2039-5137

Махінько Валерій Миколайович, доктор технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

2. *Sharan Andrii Vasylovych*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies

Шаран Андрій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

3. *Makhynko Liudmyla Vasylivna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies

ORCID: 0000-0003-4021-8947

Махінько Людмила Василівна, кандидат технічних наук, доцент Національний університет харчових технологій



Content

LIST OF ABBREVIATIONS AND DESIGNATIONS	6
PREFACE	7
CHAPTER 1	
PROTEIN, ITS PHYSIOLOGICAL ROLE AND HEALTH EFFECTS	
1.1. Physiological role of protein	9
1.2. Protein metabolism in the human body.....	10
1.3. Factors of human protein needs	16
1.4. Response to a protein intake change	23
1.5. Protein intake and health.....	26
1.6. Establishment of protein intake limits	30
CHAPTER 2	
METHODS OF ASSESSMENT OF THE PROTEIN COMPOSITE OF FOOD	
2.1. Basic approaches in the methodology of protein quality determination ...	37
2.2. Requirements for the “ideal” method of assessing the protein component of food	41
2.3. Medical and biological methods of assessing the quality of the protein component of food	45
2.4. Calculation methods of assessing the protein component of food.....	57
CHAPTER 3	
REFERENCE PROTEIN AS AN INDICATOR OF AMINO ACID BALANCE	
3.1. Natural protein as a reference	63
3.2. Formation of the methodology for the use of reference protein.....	64
3.3. Modern revisions of the reference protein formula	73
CHAPTER 4	
MODERN CALCULATION METHODS OF ASSESSING THE PROTEIN COMPONENT OF FOOD PRODUCTS AND DIETS	
4.1. The PDCAAS method, which takes into account the protein digestibility	80
4.2. The principles and problems of using the DIAAS method.....	96
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	111
RECOMMENDED LITERATURE	115



Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ПЕРЕДМОВА.....	7
РОЗДІЛ 1	
БЛОК, ЙОГО ФІЗІОЛОГІЧНА РОЛЬ І ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я	
1.1. Фізіологічна роль білка	9
1.2. Метаболізм білка в організмі людини	10
1.3. Фактори, що впливають на білкові потреби людини	16
1.4. Реакція на зміну споживання білка	23
1.5. Споживання білка і здоров'я	26
1.6. Встановлення меж споживання білка	30
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ БІЛКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ЇЖИ	
2.1. Основні підходи в методології визначення якості білка.....	37
2.2. Вимоги до «ідеального» методу оцінювання білкової складової їжі	41
2.3. Медико-біологічні методи оцінювання якості білкової складової їжі	45
2.4. Розрахункові методи оцінювання білкової складової їжі.....	57
РОЗДІЛ 3	
ЕТАЛОННИЙ БЛОК ЯК ПОКАЗНИК ЗБАЛАНСОВАНOSTІ АМІНОКИ- СЛОТ	
3.1. Природний білок як еталон	63
3.2. Формування методології використання еталонного білка	64
3.3. Сучасні редакції формули еталонного білка	73
РОЗДІЛ 4	
СУЧАСНІ РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ БІЛКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І РАЦІОНІВ	
4.1. Методика PDCAAS, що враховує засвоюваність білка	80
4.2. Принципи і проблеми використання методики DIAAS	96
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	111
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	115



List of abbreviations and designations *Перелік скорочень і умовних позначень*

АкІ — амінокислотний індекс.

АкК — амінокислотний коефіцієнт.

ЗАк — замінні амінокислоти.

ІНАк — індекс незамінних амінокислот (індекс Осера).

ІСБ — ізолят соєвого білка.

ІЯ₆ — індекс якості білка.

КРАС — коефіцієнт розбалансованості амінокислотного складу.

НАк — незамінні амінокислоти.

СПК — суха пшенична клейковина.

DIAAS (*анг.* digestible indispensable amino acid score) — амінокислотний індекс білка з урахуванням засвоюваності незамінних амінокислот.

IAAO (*анг.* indicator amino acid oxidation) — метод індикаторного окиснення амінокислоти (ІОАк).

NPPU (*англ.* net postprandial protein utilization) — показник повноти утилізації білка після споживання.

NPU (*англ.* net protein utilization) — показник повноти утилізації білка.

PDCAAS (*анг.* protein digestibility corrected amino acid score) — амінокислотний індекс білка з урахуванням його засвоюваності.

PER (*анг.* protein efficiency ratio) — коефіцієнт ефективності білка (КЕБ).

PPU (*англ.* postprandial protein utilization) — показник утилізації білка після споживання.

TID (*англ.* true ileal digestibility) — справжня засвоюваність у клубовій кишці.

Скорочені позначення незамінних амінокислот:

Thr — треонін;

Tyr — тирозин;

Cys — цистин;

Val — валін;

Phe — фенілаланін;

Met — метіонін;

Ile — ізолейцин;

His — гістидин;

Trp — триптофан.

Leu — лейцин;

Lys — лізин;



Preface

Передмова

З моменту встановлення харчовою наукою факту важливості білка та окремих амінокислот для підтримання здоров'я і ефективного довголіття людини кожна країна здійснює ряд заходів для забезпечення білкової повноцінності харчових продуктів і раціонів своїх громадян. Важлива роль у міжнародній координації подібної діяльності належить Всесвітній організації охорони здоров'я (ВООЗ) та Продовольчій і сільськогосподарській організації ООН — ФАО. Саме за їх ініціативи періодично проводяться консультативні наради експертів з різних питань, що стосуються якості й безпечності харчування, у тому числі — щодо встановлення рівнів споживання білка та оцінювання його якості.

Питання білка як окремої складової харчування людини було вперше розглянуто експертами ФАО ще у 1955 р., а подальші консультації у 1963 р. і 1971 р. проходили вже разом із фахівцями ВООЗ. З 1981 року до цієї роботи долучилися науковці Університету ООН. Паралельно в період з 1982 по 1989 роки працював Комітет з рослинних білків під егідою Комісії Codex Alimentarius. Узагальнення їх напрацювань і формулювання спільних рекомендацій здійснили групи експертів, що збиралися на консультативні збори ФАО/ВООЗ у 2002, 2011 і 2014 роках.

На жаль, у вітчизняній фаховій літературі досі трапляються випадки використання застарілої термінології та методик обчислення біологічної повноцінності харчового білка, що послуговуються вже не актуальними формулами еталонного білка або не враховують підтверджений факт варіювання біодоступності окремих амінокислот.

Дана монографія покликана ознайомити усіх зацікавлених осіб з історичним розвитком та сучасним станом питання щодо встановлення безпечних і рекомендованих норм споживання білка, кількісних і якісних характеристик білкових продуктів і раціонів. Використовуючи матеріали і рішення консультативних зборів експертів ФАО/ВООЗ та власні напрацювання, автори узагальнюють сучасні



уявлення щодо метаболізму білків та окремих амінокислот в організмі людини, описують традиційні та сучасні медико-біологічні й розрахункові методики оцінювання білкової складової харчування. Окремий розділ присвячено питанню формування формули еталонного білка як важливої основи оцінювання амінокислотного складу різноманітних білкових продуктів. На численних прикладах показано способи обчислення класичних і найсучасніших показників, що характеризують повноцінність і фізіологічну доступність білкової складової харчових продуктів і раціонів.

Автори свідомі того, що в роботі можуть траплятися помилки, а деякі питання було розкрито недостатньо повно — тож настійливо радять звертатися до першоджерел і тематичної літератури, наведеної наприкінці монографії.



CHAPTER 1 / РОЗДІЛ 1 PROTEIN, ITS PHYSIOLOGICAL ROLE AND HEALTH EFFECTS

БЛОК, ЙОГО ФІЗІОЛОГІЧНА РОЛЬ І ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я

1.1 Фізіологічна роль білка

Отримання достатньої кількості їжі відповідної якості є фундаментальним чинником нормального функціонування організму людини та збереження її здоров'я протягом усього життєвого циклу. Одним з визначальних елементів здорового збалансованого харчування є білок. Важливість споживання достатньої кількості білка високої біологічної цінності зумовлена багатогранною фізіологічною роллю білків. Сучасна нутриціологія виділяє такі основні функції білків в організмі людини:

- ✓ пластична (білки, що надходять з їжею, є джерелом амінокислот для побудови організмом власних білків та інших білкових сполук);
- ✓ енергетична (за рахунок розщеплення 1 г білка організм людини здатен отримати 16,8 кДж енергії);
- ✓ регуляторна (більшість гормонів, що забезпечують регулювання основних процесів в організмі, мають пептидну природу);
- ✓ каталітична (білки є основою більшості ферментів);
- ✓ транспортна (забезпечують перенесення кисню, водорозчинних вітамінів, стероїдних гормонів, мінеральних речовин та продуктів метаболізму в органи і тканини організму людини);
- ✓ захисна (білкову природу мають антитіла, які відповідають за імунітет людини, сполуки білкової природи сприяють виведенню токсинів та згортанню крові);
- ✓ механічна (білки забезпечують роботу м'язів та внутрішніх органів людини, рух протоплазми в клітинах);
- ✓ структурна (входячи у значних кількостях до складу хрящів, волосся та нігтів, білки забезпечують їх структуру);
- ✓ рецепторна (білки беруть участь у перенесенні сигналів на внутрішньоклітинному та міжклітинному рівнях);



✓ буферна (забезпечують постійність реакцій середовища плазми, спинно-мозкової рідини та кишкових секретів).

Також важливо враховувати, що лише за наявності достатньої кількості повноцінного білка стає можливим щонайповніший прояв біологічних властивостей інших складових їжі.

1.2 Метаболізм білка в організмі людини

Як і для більшості поживних речовин, загальний рівень харчової потреби в білку визначається в поняттях *кількісних* метаболічних потреб і *якісних* характеристик спожитого білка, тобто його здатності задовольнити ці потреби (ефективність використання). Загалом можемо стверджувати, що харчова потреба визначається метаболічним попитом з врахуванням ефективності використання білка.

Метаболічний попит визначається характером і обсягом тих метаболічних процесів, які потребують певних амінокислот, і зазвичай враховують підтримання азотистого балансу та особливі потреби (вікові особливості, фізична активність, стан здоров'я, вагітність і лактація).

Якісні характеристики білкового харчування будуть обумовлені кількістю й співвідношенням амінокислот, які входять до раціону і будуть використані, щоб задовольнити метаболічний попит і досягти рівноваги азоту в організмі людини. У більшості випадків потреба буде вищою, ніж метаболічний попит. Це зумовлено факторами, які впливають на ефективність використання білка і пов'язані з особливостями травлення і всмоктування їжі (засвоюваність і, відповідно, клітинна біодоступність харчового азоту й окремих спожитих амінокислот).

До сьогодні залишається певна невизначеність щодо багатьох окремих аспектів метаболізму білка, амінокислот та азоту, які разом визначають метаболічні потреби людини в білку. Проте є достатньо доказів на підтвердження загального схематичного зображення білкового обміну, наведеного на рис. 1. Розглянемо його докладніше.

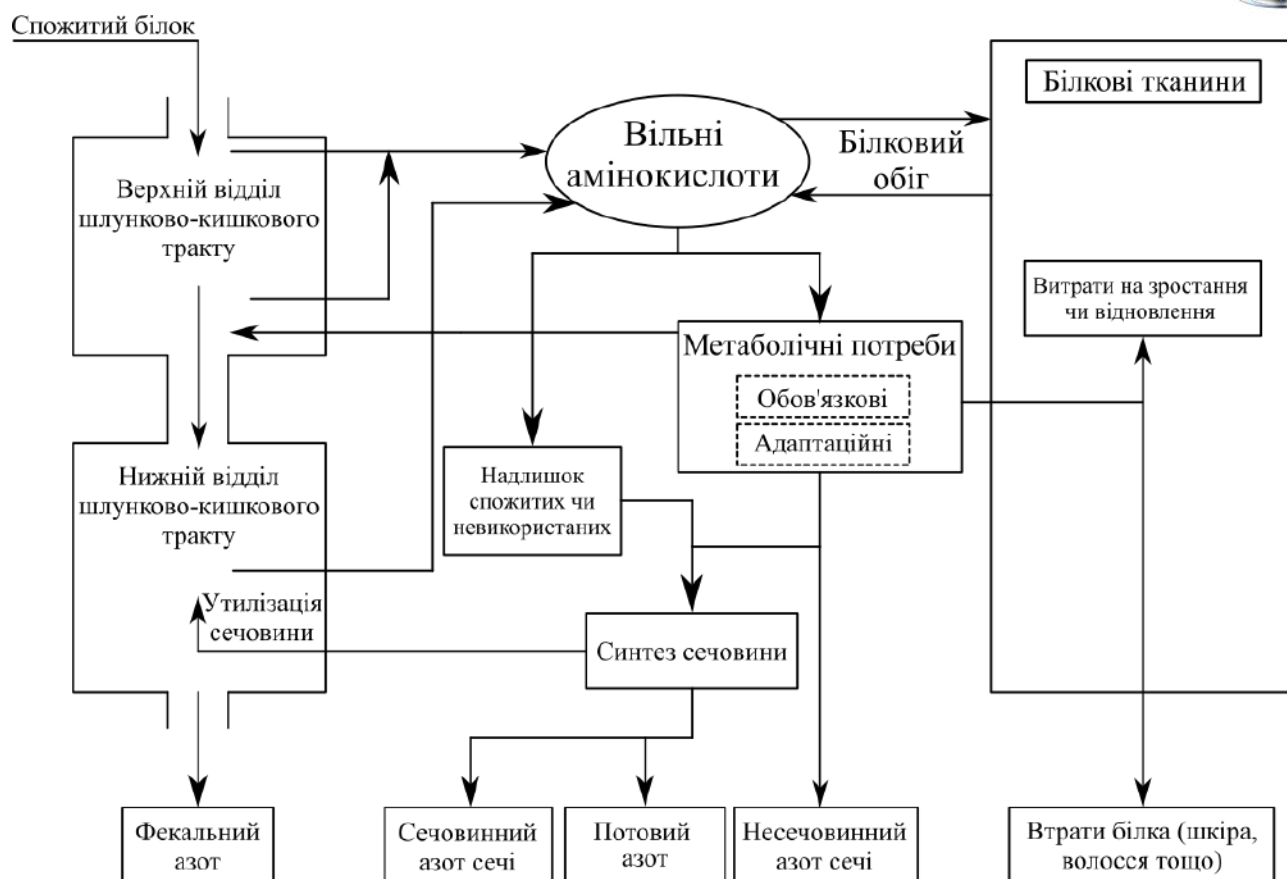


Рисунок 1 — Модель білкового обміну в організмі людини

Джерело: звіт ФАО (2013)

Метаболічний попит на амінокислоти передбачає отримання такої кількості білка, яка була би спроможна забезпечити всі базові потреби в амінокислотах і будь-які додаткові потреби, зумовлені активним процесом зростання, відновлення, вагітності чи лактації. Цей попит забезпечується з пулу вільних амінокислот, розмір якого для більшості амінокислот коливається у досить вузьких межах. Регулювання кількості АК передбачає надходження з трьох джерел:

- ✓ зі спожитих білків після перетравлення та всмоктування у верхніх відділах шлунково-кишкового тракту;
- ✓ тканинний білок після протеолізу;
- ✓ утворення *de novo*, яке може включати амінокислоти, отримані в процесі утилізації сечовини після гідролізу та бактеріального метаболізму в нижніх відділах шлунково-кишкового тракту.

Використання вільних амінокислот відбувається у ході реакцій, де вони діють як субстрати. Найголовнішими є метаболічні потреби. Цей шлях передбачає



низку необоротних процесів, включаючи чистий синтез білка (найбільша частка) та інші незворотні метаболічні перетворення окремих амінокислот. Також амінокислоти можуть бути незворотно вилучені у ході окислення та видалення азоту, спровокованого, наприклад, тимчасовим підвищенням надходження деяких або всіх вільних амінокислот після споживання високобілкової їжі (їх неефективне використання).

Метаболічна потреба в амінокислотах включає обов'язкову та адаптивну складові. *Обов'язкова* у стані рівноваги (підтримання) зумовлена трансформацією певних окремих амінокислот у важливі метаболіти, які далі перетворюються на кінцеві азотисті продукти — головним чином сечовину та інші сполуки в сечі, фекаліях або поті, а також зумовлює чистий синтез білків, втрачених організмом людини як шкіра, волосся та будь-які інші виділення. Величина *підтримувальної* складової вважається емпірично рівною сумі всіх втрат організмом азоту, характерних для безбілкової дієти (після стабілізації втрат на низькому рівні, тобто обов'язкових втрат азоту). За цих умов вважається, що чистий тканинний протеоліз визначається метаболічним споживанням лімітованої амінокислоти (амінокислоти з найвищим співвідношенням метаболічної вимоги до частки білка). Оскільки загальна обов'язкова метаболічна потреба організму людини передбачає наявність суміші амінокислот із профілем, який у більшості випадків не відповідає профілю тканинного білка, фактичний вміст азоту в метаболічній потребі буде меншим, ніж у тканинному білку, мобілізованому для задоволення таких потреб, тобто менше, ніж обов'язкові втрати азоту. Це пояснюється тим, що всі амінокислоти, мобілізовані для забезпечення метаболічного попиту, повинні бути окислені та сприятимуть виведенню азоту, тоді як лише деякі з них виконуватимуть корисні функції. Доказом цього є зниження обов'язкових втрат азоту у відповідь на споживання селективних амінокислот, таких як метіонін або треонін. Будь-який чистий синтез білка, пов'язаний зі зростанням, вагітністю та лактацією, також входить до обов'язкової метаболічної потреби.

Адаптивна складова характеризує можливість швидко утилізувати надлишок білка та підтримувати низькі концентрації в тканинах певних амінокислот



(насамперед амінокислот з розгалуженим ланцюгом, ароматичних та сірковмісних), які можуть бути токсичними у підвищених концентраціях. Оскільки більшість дорослих людей ростуть дуже повільно або зберігають постійну вагу на дієтах, які містять білок у кількостях, що значно перевищує мінімальну потребу, адаптована швидкість, характерна для звичного споживання, змінюється лише у відповідь або на зміну рівня споживання білка в їжі, або на голодування. Коли споживання падає нижче звичного рівня, відбувається мобілізація тканинного білка з негативним балансом азоту протягом усього часу, необхідного для адаптації до нижчого рівня споживання (резерв лабільного білка). Водночас, оскільки адаптивна швидкість окислення амінокислот певною мірою подовжується в постабсорбційному стані, спостерігаються різні постабсорбційні втрати тканинного білка та виділення азоту. Через це модель адаптивного метаболічного попиту включає компонент чистого синтезу білка, який компенсує втрати після всмоктування. Величина його змінюється складним чином залежно від режиму приймання їжі, а також від кількості та якості (амінокислотний коефіцієнт) звичного споживання білка.

Хоча *окислення амінокислот і синтез сечовини* вважаються незворотними, це не зовсім правильно. Адже вже відомо, що швидкість синтезу сечовини зазвичай перевищує швидкість її виведення, оскільки деяка кількість сечовини надходить у нижню частину шлунково-кишкового тракту і гідролізується бактеріями. Більша частина цього азоту використовується бактеріями, а невелика частина втрачається у вигляді фекального азоту, однак частково він повертається в системний пул у вигляді аміаку та амінокислот, включаючи незамінні. Раніше вважалося, що товста кишка не має достатньої кількості транспортерів амінокислот для забезпечення екстенсивного отримання бактеріальних амінокислот з товстої кишки, але все більше вчених схиляються до думки, що це припущення хибне. Звичайно ж, у різних людей утилізація сечовини дійсно відбувається в різному ступені, та все ж певна частина звільненого азоту повертається в системний пул у вигляді незамінних амінокислот. І хоча існуюча експериментальна база даних про величину і природу цього поверненого азоту сечовини на сьогодні невелика,



очікувана кількість може бути значущою з харчової точки зору. Крім того, це має важливі наслідки для досліджень потреби в амінокислотах і білках на основі окислення амінокислот. Дослідження балансу, засновані, наприклад, на окисленні лейцину, як правило, повинні були б бути негативнішими, ніж очікувалося, якщо не брати до уваги синтез *de novo*. Тому існує потреба в набагато кращому розумінні як ступеня, так і регуляції синтезу сечовини, а також метаболізму азоту в нижніх відділах кишечника, щоб кількісну важливість утилізації сечовини можна було включити в загальне розуміння процесу підтримання гомеостазу амінокислот.

Рівнем *харчової потреби* в білку буде мінімальне споживання, яке задовольняє метаболічні потреби та підтримує відповідний склад тіла та темпи росту, беручи до уваги будь-яку неефективність травлення та метаболічного засвоєння. Щоб задовольнити метаболічний попит, харчовий білок повинен містити достатню кількість незамінних з харчової точки зору амінокислот (валін, гістидин, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, треонін, триптофан і фенілаланін), і амінокислот, які можуть стати незамінними за певних фізіологічних умов або патологічних станів (умовно необхідні: цистеїн, тирозин, таурин, гліцин, аргінін, глутамін і пролін), а також достатній рівень загального азоту амінокислот, який може бути забезпечений будь-якою з вищезазначених амінокислот і певних замінних амінокислот (аспарагінова кислота, аспарагін, глутамінова кислота, аланін і серин) або з інших джерел несуттєвого азоту. Мінімальні метаболічні потреби та відповідні потреби в білку виникнуть, коли адаптаційний компонент знизиться до найнижчого можливого рівня. Хоча достовірно невідомо, скільки часу триває така адаптація, вона цілком може відбуватися довше, ніж періоди, які використовуються в дослідженнях короткострокового балансу білка. Тому короткострокове вивчення балансу мінімальної потреби в білку може переоцінювати ці значення, а певна варіабельність потреб у білках між дослідженнями може відображати різну повноту адаптації до тестових дієт.

Також вже встановлено, що метаболічний попит за своєю суттю є різним для окремих людей і навіть для однієї й тієї ж людини в різний час протягом дня



та на різних етапах життя. Повний опис метаболічної потреби включатиме швидкість, з якою кожна окрема амінокислота проходить усіма метаболічними шляхами за всіх ймовірних обставин, а також взаємоперетворення різних форм азоту, доступних для забезпечення відповідних пропорцій амінокислот. Вимірювання такого попиту не можна здійснити з упевненістю чи точністю, але можна проілюструвати або охарактеризувати для різних ситуацій.

Існує загальна згода, що коли споживання азоту з їжею дорівнює нулю, а енергія та всі інші поживні речовини споживаються в достатній кількості, відбувається постійна втрата азоту з організму, яка визначається як *обов'язкова*. Існує також загальна згода, що зі збільшенням споживання білка, амінокислот і азоту існує рівень споживання, достатній для досягнення балансу азоту, який можна охарактеризувати як *мінімальну потребу* в білку. Це найнижчий рівень споживання, необхідний для забезпечення рівновагу азоту в короткостроковій та довгостроковій перспективі (найвища ефективність використання).

Також слід пам'ятати: якщо структура амінокислот у отриманих організмом білках не відповідатиме моделі метаболічних потреб, обов'язкові втрати азоту включатимуть азот з амінокислот, які є надлишковими до потреби, і це буде призводити до переоцінювання величини метаболічних потреб, принаймні з точки зору загальних кількостей амінокислот.

Ступінь і структура потреби в амінокислотах також змінюватимуться залежно від генотипу та тих факторів, які визначають фенотип, тобто запрограмована метаболічна здатність, вік, стать, дієта, склад тіла, фізіологічний стан, патологічні чи екологічні стресори, спосіб життя (особливо фізична активність) — усі ці фактори потенційно можуть діяти окремо чи разом. Сучасні знання поширюються лише на обмежене розуміння цього діапазону варіацій у попиті, а саме впливу певних факторів у «модельних» або «еталонних» ситуаціях.

На практиці вимірювання мінімальної потреби в білку значно відрізняються всередині груп та між окремими особами — і в більшій мірі, ніж це спостерігається при вимірюванні обов'язкових втрат азоту — з різних причин, деякі з яких не зовсім зрозумілі. Тож визначити мінімальну потребу в білку за своєю суттю



важко. Це різко контрастує з основною швидкістю метаболізму, за якою можна розрахувати енергетичні потреби після врахування інших компонентів енергетичних витрат і яку можна виміряти з відносно невеликими варіаціями в ретельно визначених стандартизованих умовах.

Для цілей планування та охорони здоров'я, а також для мінімізації ризику дефіциту білка, вимоги білкових потреб мають бути представлені у вигляді дієтичних норм, які враховують відмінності між людьми. Хоча на практиці ступінь такого впливу ще належить кількісно визначити, адже досі незрозуміло, наскільки спостережувана мінливість базової потреби в білку може бути пов'язана з методологічними міркуваннями чи відображає природну біологічну мінливість.

1.3 Фактори, що впливають на білкові потреби людини

Розглянемо основні фактори, які можуть впливати на величину мінімальної потреби організму людини в білку.

1.3.1 Білково-енергетичний взаємозв'язок

Ефективне харчове забезпечення білками, амінокислотами та азотом основних потреб людини відбудеться лише тоді, коли задоволені потреби організму в енергії та інших поживних речовинах для нормального функціонування клітин і тканин. Утилізація та депонування білка не в останню чергу залежать від надходження достатньої кількості енергії на всіх етапах транспортування та взаємоперетворення амінокислот, синтезу білка чи протеолізу. До того ж, амінокислоти є потенційним клітинним паливом, особливо для метаболізму в печінці та нирках, а також у скелетних м'язах. Тому адекватна кількість небілкової енергії (з вуглеводів або жирів) є необхідною для гарантування того, що достатня кількість харчових амінокислот буде використана саме як субстрат для задоволення потреби в амінокислотах, а не на покриття енергетичних потреб організму.

На сьогодні вже встановлено досить чіткі реакції організму людини на коливання рівнів надходження енергії та білка в раціоні. За незмінних рівнів енерговитрат збільшення споживання енергії покращує баланс азоту незалежно від природи надлишку енергії (з вуглеводів чи жирів). Підстава для цього ще не до



кінця зрозуміла, хоча гормональні реакції на споживання енергії, особливо секречія інсуліну, можуть знизити білкові потреби внаслідок мінімізації чистої втрати білка через інгібування як протеолізу, так і окислення амінокислот. Вплив зміни енергообміну внаслідок зміни рівня фізичної активності на баланс енергії і баланс азоту є важливою, але набагато менш зрозумілою проблемою. Фізично активніша людина витрачає більше енергії, споживає більше їжі, а отже, має вищий абсолютний рівень споживання білка. Зі збільшенням активності потреба в амінокислотах і азоті зростає набагато меншою мірою (якщо взагалі зростає), ніж потреба в енергії, стає легше задовольнити потребу в азоті, а амінокислотна структура дієти стає менш важливою. Є дані, що фізичні вправи збільшують окислення амінокислот і втрати азоту, хоча у тренуваної людини з адекватним енергозабезпеченням такі втрати азоту можуть бути мінімальними або навіть меншими, ніж у малоактивних осіб. Навпаки, коли рівень фізичної активності спадає, споживання їжі також може знижуватися і, отже, зменшується абсолютне споживання білка. Тому будь-який відносний дисбаланс між схемою амінокислот, що забезпечується дієтою, і схемою, необхідною організму, стає виразнішим. Тобто дієта, яка могла бути достатньою з точки зору кількості й якості білка при високих рівнях активності, може більше не бути адекватною при нижчому рівні активності. Виходячи з того, як енергетичні потреби змінюються залежно від рівня основного метаболізму, який вважається нижчим (на кілограм маси тіла) для жінок, ніж для чоловіків, зменшується з віком у дорослих і є нижчим у дорослих, які мають більшу вагу, середнє та еталонне співвідношення білок:енергія зростає з віком, воно вище для жінок, ніж для чоловіків і, звичайно ж, вище у малорухливих, ніж у активних людей. Як наслідок, співвідношення білок:енергія найвище, коли енергетичні потреби найнижчі, тобто у малорухливих літніх жінок з надлишковою вагою. Навпаки, високі енергетичні потреби немовлят і дітей означають, що співвідношення білок:енергія є найнижчим у немовлят і дітей раннього віку. Співвідношення білок:енергетичні потреби, виражене як функція віку, маси тіла, статі та рівня фізичної активності, дає змогу визначити необхідну концентрацію білка в харчових продуктах як функцію способу життя,



маси, віку та статі. Такі розрахунки показують, що еталонне співвідношення білок:енергія коливається від 0,048 для 2,5-річного немовляти до 0,128 для малорухливої дорослої жінки з надлишковою масою тіла. Якщо припустити, що еталонне співвідношення білок:енергія представляє безпечне або «бажане» співвідношення, яке має бути отримане людиною за допомогою харчування, малорухлива літня жінка вагою 70 кг потребуватиме раціону з більш ніж удвічі вищою концентрацією білка порівняно з потребами дуже малих дітей. Тому для будь-якої дієти, обмеженої у білках, групами населення, найбільше схильними до ризику, будуть люди похилого віку, особливо жінки, які ведуть малорухливий спосіб життя. А це означає, що розраховані потреби в білках для людей похилого віку не відрізнятимуться від потреб для молодих людей лише у випадку, коли літні люди є достатньою мірою фізично активними.

1.3.2 Вітаміни та мінеральні речовини

Ефективність метаболізму та обміну амінокислот критично залежать від адекватного надходження інших поживних мікроелементів. Хоча на сьогоднішній день це ще мало вивчена сфера, вже відомо, що недостатня кількість вітамінів групи В або цинку впливатиме на біологічну цінність раціону. Водночас встановлено, що приймання добавок або додаткове збагаченні їжі цими мікронутрієнтами може призвести до метаболічного попиту або стресу для організму, пов'язаного з потребою утилізації будь-якого надлишкового споживання. Наприклад, надлишок харчового цинку індукуює синтез металотіонеїну, який може збільшити потребу в сірковмістних амінокислотах, тоді як синтез феритину у відповідь на надлишок заліза може «відволікати» амінокислоти від інших важливих фізіологічних функцій.

1.3.3 Спосіб життя і стан довкілля

Як уже зазначалося, найважливішим аспектом способу життя, який може змінити потребу в білках, є *рівень фізичної активності*. Однак, хоча підвищення цього рівня може початково збільшити попит на білок, ступінь такого впливу може бути зведений до мінімуму внаслідок тренувань і адекватного споживання небілкової енергії. Також існують дані, що високі рівні споживання білка



деякими спортсменами можуть посилювати процес окислення амінокислот під час фізичних вправ і, таким чином, додатково збільшувати їх потребу.

Куріння і вживання алкоголю також впливають на фізіологічні потреби в білках і окремих амінокислотах. Зокрема, детоксикація та виведення внесених з цими продуктами хімічних речовин і ксенобіотиків можуть ставити незбалансовані вимоги до метаболізму амінокислот. Ліки, які вживаються для полегшення детоксикації (наприклад, парацетамол), також здатні значно підвищувати потребу в сірковмісних амінокислотах.

Несприятливі фактори довкілля спричиняють метаболічний стрес, який викликає або неспецифічні запальні реакції, або більш специфічні імунні реакції, коли виникають інфекції. У критичних випадках такий вплив призводить до повної зміни метаболічних пріоритетів (фундаментальної зміни потреб у білках, амінокислотах та азоті) чи незбалансованих їх втрат з організму. І в подальшому для відновлення після таких впливів також потрібні підвищені та змінені метаболічні потреби, щоб компенсувати ці специфічні втрати.

1.3.4 Амінокислотний метаболізм

Адекватні потребам організму людини кількості амінокислот мають бути забезпечені раціоном або в уже сформованому стані, або як відповідні попередники, що можуть бути використані для створення відповідної суміші амінокислот після ендогенних перетворень і задовольняють потребу в синтезі білка та інші метаболічні зміни. Найзагальніша модель, яка характеризує цей рух амінокислот, наведена на рис. 2. Потреба всередині системи — це потік амінокислот для синтезу білка та інших метаболічних потреб (причому будь-які амінокислоти, що перевищують цю потребу, йтимуть через окислювальні шляхи). Цю потребу необхідно задовольнити амінокислотами, які утворюються в результаті деградації білка, синтезу амінокислот *de novo* або споживання з їжею. Значною мірою амінокислоти, отримані в результаті деградації спожитого білка, відповідатимуть кількості та структурі синтезу тканинного білка (за винятком незначної частки амінокислот, які зазнають модифікацій, таких як метилування), тому цей попит буде домінувати.

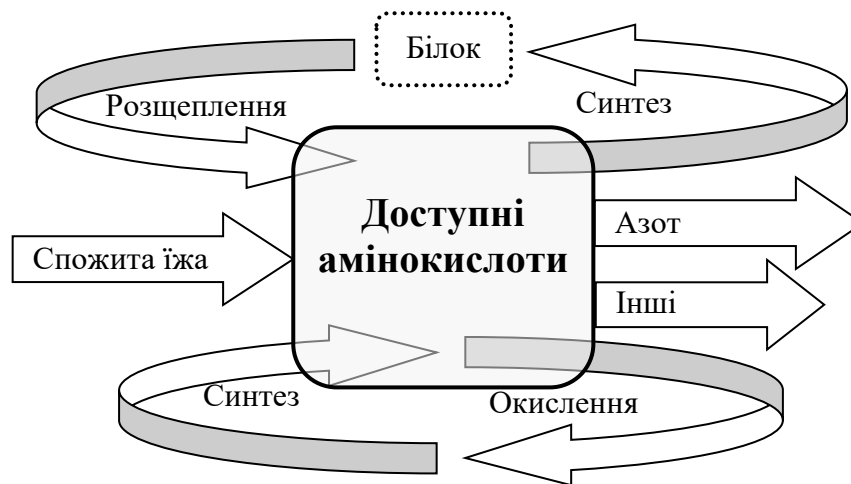


Рис. 2 — Загальна модель метаболізму та обміну амінокислот

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ/УООН (2007)

Варто звернути увагу на питання невизначеності, пов'язане зі звичайним припущенням про те, що заміність і незамінність є абсолютними та взаємовиключними категоріями. Це майже напевно надмірне спрощення. Для амінокислот, визначених як незамінні, фактично існує змінна міра, до якої може мати місце ендогенне утворення, з невеликою достовірною інформацією про верхню межу цієї здатності, тобто, чи може ендогенна здатність до їх утворення завжди задовольнити їхні потреби. Для незамінних амінокислот ця здатність вважалася нульовою, але фактично зараз є докази деякого синтезу *de novo* таких амінокислот з сечовини в нижніх відділах кишечника. Ступінь цього перетворення та його значення для харчування залишається невизначеним, але має критичні практичні наслідки, враховуючи широке використання досліджень стабільних ізотопів окислення амінокислот як альтернативи дослідженням балансу азоту. Подібним чином, ступінь *de novo* утворення незамінних амінокислот є важливим з точки зору забезпечення адекватності фізіологічних потреб під час розроблення спеціалізованих дієт клінічного харчування.

Насправді, за своєю природою ця система більш складна, ніж ми можемо достовірно охарактеризувати на даний час, однак є елементи, які можна вимірювати з різним ступенем надійності. Зрештою, практична мета полягає у визначенні обсягу та форми харчового азоту, необхідного для забезпечення



надходження амінокислот, достатніх для підтримання здоров'я (маса тіла, баланс азоту, фізіологічні, метаболічні та психологічні функції).

1.3.5 Підтримання катаболізму амінокислот і обов'язкові втрати азоту

Як зазначалося вище, вважається, що обов'язкові втрати азоту на безбілковій, але за іншими характеристиками адекватній дієті вказують на величину підтримувальної метаболічної потреби. Передбачається, що обов'язкові втрати азоту відображають потребу в амінокислотних попередниках для будь-якого чистого синтезу білка (головним чином епідермальні втрати плюс менструальна кров у жінок у пременопаузі) для всіх небілкових продуктів, отриманих з амінокислот, які зумовлюють появу азоту в сечі та будь-якого азоту, втраченого у товстому кишечнику. Сучасні дослідження вказують на те, що підтримувальна потреба в амінокислотах базується в основному на незамінних або умовно незамінних амінокислотах (за винятком фенілаланіну, триптофану та метіоніну).

Також уже встановлено, що існує попит на елементи амінокислот для цілого ряду небілкових продуктів, які походять з вуглецевих скелетів амінокислот або азоту амінокислот, таких як нуклеїнові кислоти, різноманітні менші молекули, такі як креатин, таурин, глутатіон, катехоламіни, тироксин, серотонін, дофамін або оксиду азоту, а також катаболізм деяких невідновлюваних амінокислот (наприклад, амінокислот з розгалуженим ланцюгом), який не було визначено як цілеспрямований. Ці різні сполуки самі катаболізуються, утворюючи різноманітні азотисті кінцеві продукти. Існує також катаболізм під час бактеріальної ферментації вуглецевих скелетів амінокислот, які надходять у товсту кишку, при цьому амінокислотний азот реабсорбується у вигляді аміаку. Іншими словами, засвоюваність деяких незамінних амінокислот в клубовій кишці є меншою, ніж засвоюваність у фекаліях. Загальна схема цих різних шляхів невідома, але вже визнано, що структура амінокислот для підтримання метаболічного попиту відрізняється від необхідної для росту тканин. Також доведено, що додавання окремих амінокислот (сірковмісних і треоніну) до безбілкової дієти може знизити виведення азоту так само, як дієти, з яких було зроблено вилучення окремих амінокислот,



спричиняючи негативний баланс азоту, не пропорційний вмісту видалених амінокислот.

1.3.6 Перетравність харчових білків

Концепція засвоюваності, яка зазвичай визначається в термінах балансу амінокислот у тонкій кишці (від рота до кінцевої частини клубової кишки — засвоюваність клубової кишки) або через весь кишечник (від рота до анального отвору — фекальна засвоюваність), базується на принципі, що різниця між споживанням і втратами забезпечує міру перетравлення та поглинання харчового білка як амінокислот шлунково-кишковим трактом для використання організмом людини. Фактично ж, такий чистий баланс у кишечнику передбачає значний обмін азоту у формі білка, амінокислот і сечовини і є складнішим, ніж вважалося до цього.

Запас азотовмісних сполук складається переважно з білків, але також включає вільні амінокислоти, нуклеотиди та креатин, кожен з яких може бути важливим для здоров'я. Цілісність шлунково-кишкового тракту підтримується за рахунок чистої секреції азотовмісних сполук, таких як муцини та антитіла, і постійного відшарування ентероцитів. Крім того, відбувається значна секреція білків, пов'язана з процесами травлення і всмоктування. Більшість білків перетравлюється, а отримані амінокислоти або пептиди засвоюються. Загальний потік ендогенних азотовмісних сполук у просвіт тонкої кишки достовірно невідомий, але оцінюється приблизно від 70 до 100 г білка щодня. Вони змішуються з амінокислотами, отриманими з їжею, і значною мірою поглинаються до того моменту, коли досягають кінцевого відділу клубової кишки. Отже, «засвоюваність клубової кишки», різниця між спожитими амінокислотами та амінокислотами, які з'являються в кінцевому відділі клубової кишки, є в найкращому випадку дуже грубим наближенням перетравлення азотовмісних матеріалів у тонкій кишці. Використання мічених амінокислот для відстеження частки дієтичних компонентів підтверджує припущення, що більшість харчових білків перетравлюється та засвоюється з великою ефективністю.



Структура споживання складних і неперетравлюваних вуглеводів у раціоні має суттєвий вплив на метаболічну поведінку мікрофлори товстої кишки через їх важливість як джерела енергії. Вміст азоту у фекаліях підвищується в осіб, які споживають дієти, що містять велику кількість неперетравлюваних вуглеводів, особливо якщо вони чутливі до ферментації резидентною мікрофлорою, збільшуючи бактеріальну біомасу та розчинні азотовмісні сполуки. Тому, коли дієти містять велику кількість неперетравлюваних вуглеводів, фекальний азот не можна використовувати як надійний показник засвоюваності. Крім того, збільшення азоту у фекаліях може відповідати еквівалентному зниженню азоту в сечі, з практичним наслідком того, що азот у сечі стає менш надійним маркером балансу азоту.

Таким чином, концепції засвоюваності як клубової кишки, так і фекальної засвоюваності підлягають важливим обмеженням за певних умов. Ці умови, насамперед, враховуються за потреби визначити критичну харчову цінність харчових продуктів на межі задоволення дієтичних потреб, і тому ці методи не можна використовувати з упевненістю для розроблення варіантів загальної харчової політики.

1.4 Реакція на зміну споживання білка

Людський організм здатен сприймати широкий діапазон концентрацій білка в їжі без очевидної шкоди для себе. Складність визначення харчових потреб у білку та амінокислотах полягає у визначенні нижньої та верхньої меж цього діапазону споживання, за межами якого будь-яка подальша адаптація може бути ускладнена. Існують різні точки зору на процес адаптації, які є важливими як для інтерпретації досліджень балансу азоту, так і для розроблення та обґрунтування результатів досліджень з використанням стабільних ізотопів. Хоча деякі автори не беруть до уваги адаптацію у своєму експериментальному плані, стверджуючи, що попередня адаптація не потрібна, більшість дослідників визнають, що адаптація певною мірою відбувається. Дійсно, у контексті визначення потреби в білках і амінокислотах здорові люди повинні вважатися «пристосованими» до свого



поточного раціону. У випадку кількісної чи якісної зміни характеристики харчування суб'єктам необхідно дати час для адаптації, інакше можна просто оцінити запас поживних речовин у поточному раціоні, що має несуттєву харчову значимість.

Однією з особливостей відповіді на зміни в споживанні білка є збільшення чи втрата організмом азоту, який вважається білком і описується як лабільний запас білка. Важливо, що ця адаптація у людей відбувається повільно і вимагає щонайменше кількох тижнів. Також досі не встановлено остаточно, чи зберігається білок, отриманий у періоди підвищеного споживання білка, і чи відновлюється білок, втрачений у періоди низького споживання білка. Тож немає переконливих причин, чому слід приділяти особливу увагу встановленню певного рівня лабільних запасів білка у визначенні вмісту білка в організмі щодо його потреби.

1.4.1 Обіг білків і рецикл амінокислот

Обговорення метаболічних реакцій на споживання ускладнюється необхідністю брати до уваги періодичний характер споживання їжі та, як наслідок, денний характер загального добового балансу. Оскільки чистий катаболізм білка з втратою тканинного білка відбувається, коли організм переходить у стан після всмоктування, на момент наступного споживання їжі має бути наявним певний запас білка для компенсування втрат після всмоктування, щоб зберегти загальний баланс. Цей періодичний цикл надходжень і втрат азоту означає, що точкові вимірювання білкового або амінокислотного метаболізму лише опосередковано стосуються щоденного балансу, якщо тільки вимірювання не проводяться як під час їжі, так і після всмоктування.

Величина щоденної циркуляції білка, потік амінокислот у кілька разів перевищує споживання, тобто потребує повторного використання амінокислот, що вивільняються в результаті розпаду білка, для синтезу білка. Було проведено ґрунтовні дослідження того, як зміни в обігові білка та, як наслідок, рециркуляція амінокислот можуть впливати на харчові потреби в білках. Існує загальна кореляція між швидкістю обігу білка та ендогенними втратами азоту, причому швидкість обох процесів змінюється залежно від основної швидкості метаболізму,



що, швидше за все, є відображенням загалом паралельних метаболічних змін у багатьох клітинних процесах, які складають базову швидкість метаболізму та сприяють як обігові білка, так і обов'язковим втратам азоту. Однак у дорослих людей не існує простого зв'язку між споживанням білка та його обігом, який можна використовувати як показник адекватності білка в раціоні. Наприклад, реакція синтезу білка і, особливо, протеолізу на підвищене споживання їжі чи голодування чутлива до рівня споживання білка, як і повинно бути. Але загальні добові показники обміну білка мало змінюються при споживанні білка в широкому діапазоні. Крім того, при недоїданні та у зв'язку зі старінням зміни обміну білка ускладнюються змінами складу тіла. У дорослих людей, які страждають від недоїдання, швидкість обігу білка в усьому тілі збільшується, якщо виражати його на одиницю нежирової маси тіла, ймовірно, через відносно більшу втрату м'язів порівняно з іншими тканинами. Подібним чином менша частка скелетних м'язів через саркопенію може пояснити, чому середньодобові темпи обігу білка мало змінюються зі старінням, навіть якщо повідомлялося про сповільнення у людей похилого віку обігу білка скелетних м'язів. Тобто за обігом білка, вираженим на кілограм маси тіла, що відображає відносний розмір знежиреної маси та її склад, важко визначити ступінь зниження подібного обігу в нем'язових тканинах.

Таким чином, вимірювання синтезу білка в усьому тілі не виявилось чутливим метаболічним індикатором адекватності споживання білка або проміжним показником того, що фізіологічна вимога задовольняється. Хоча величина чистого синтезу білка, тобто різниця між синтезом і деградацією білка, дійсно становить важливу частину метаболічного попиту на харчовий білок, організм, напевне, складним чином адаптується до різних моделей споживання їжі та якості білка. Саме тому рівень чистого синтезу білка не можна вважати проміжним показником адекватної потреби.

1.4.2 Формулювання білкової потреби

Виходячи з того, що харчові потреби в білку повинні забезпечувати підтримання балансу та будь-які особливі потреби зростання, вагітності чи лактації, цю потребу можна визначити як: *найнижчий рівень харчового споживання білка,*



який збалансує втрати азоту з організму, і, таким чином, здатен підтримувати білковий баланс у осіб з енергетичним балансом низького рівня фізичної активності, а також у дітей, вагітних або годуючих жінок, потреби, пов'язані з відкладенням тканин або секрецією молока в нормах, що відповідають необхідному здоров'ю.

Слід зауважити, що таке визначення потреби з точки зору балансу азоту не обов'язково характеризує оптимальний рівень споживання, який менше піддається кількісному вимірюванню.

1.5 Споживання білка і здоров'я

Оцінювання харчового раціону окремих осіб та популяцій найчастіше пов'язане зі встановленням меж адекватності раціону та визначенням потенційно несприятливих наслідків низького або недостатнього споживання поживних речовин на різних етапах життя людини. Приклади і результати хронічних захворювань, пов'язаних зі встановленням критеріїв і дієтичних рекомендацій щодо протеїну та амінокислот для *вагітних жінок*, можуть включати артеріальну гіпертензію, внутрішньоутробні інфекції та затримку розвитку плоду. Для *маленьких дітей* вони включатимуть виснаження та сповільнення зростання, підвищену частоту інфекцій і загальну смертність. Для *дітей старшого віку* це може бути відставання в зростанні, вищий рівень інфікування та змінені когнітивні показники. Для *дорослих* такими наслідками можуть бути зростання частоти інфекційних захворювань, знижена м'язова сила та продуктивність праці, а також (у випадку надмірного споживання білка з їжею) — погіршення стану кісток і гіпертензія. Для *людей похилого віку* можливі саркопенія, ослаблення кісток, зниження когнітивної та погіршення імунної функцій, вища податливість інфекціям, знижена працездатність, гіпертензія, захворювання нирок, ожиріння та діабет. Основна перевага використання результатів захворювання як індикатора адекватності або оптимального споживання полягає в тому, що вони є найбільш прямим методом оцінювання впливу на здоров'я. Однак важливим недоліком використання таких результатів є те, що, оскільки на них впливають численні поживні речовини та їх



взаємодія з генотипом, вони навряд чи будуть специфічними для окремих амінокислот.

Також потрібно враховувати, що для значної частини населення розвинутих країн багато поживних речовин не тільки наявні у достатній кількості навіть у звичайному раціоні, але також можуть прийматися як дієтичні добавки, тож загальне споживання може значно перевищувати потреби та рекомендовані дози. Особливо це стосується білків і амінокислот. Середнє споживання білка населенням розвинених країн, які харчуються змішаним раціоном, зазвичай значно перевищує рекомендовані рівні споживання, особливо для м'ясоїдів. На додаток до цього, білкові та амінокислотні добавки легкодоступні для широкого загалу через аптеки, продуктові магазини та Інтернет-постачальників. Протеїнові добавки є найпоширенішим ергогенним допоміжним засобом, окремі амінокислоти вживаються з причин, більшість яких мають недостатнє або зовсім не мають наукового обґрунтування. Тому варто розглянути декілька проблем, які можуть виникати через те, що споживання білка перевищуватиме рекомендовані рівні.

1.5.1 Функція нирок

Існують докази того, що високе споживання білка пацієнтами з нирковими захворюваннями викликає погіршенню функції нирок. Однак останні дослідження свідчать, що обмеження споживання білка на підставі стану функціонування нирок є доцільним лише для суб'єктів, у яких є ймовірність розвитку ниркової недостатності внаслідок діабету, артеріальної гіпертензії чи полікістозу нирок. Другим потенційним наслідком дієти з високим вмістом білка, який широко обговорюється, є збільшення кількості каменів у нирках. Сеча містить високі концентрації кальцію та оксалату, які можуть накопичуватися в нирках у вигляді кальцієво-оксалатних утворень, найпоширенішої форми ниркових каменів. Результати наукових досліджень показали, що збільшення в раціоні тваринного білка призвело до підвищення рівня кальцію та оксалату в сечі, що збільшило ризик утворення каменів на 250 %. А вивчення впливу дієтичного кальцію та інших поживних речовин на ризик утворення каменів у нирках свідчить, що підвищене споживання кальцію знижує, а високе споживання тваринного білка збільшує



ризик утворення каменів. Останні дослідження підтвердили негативний вплив споживання кальцію на утворення каменів, але для споживання тваринного білка ефект був менш чітким. Це можна вважати доказом того, що дієта з високим вмістом тваринного білка сприяє утворенню каменів у нирках лише у чутливих суб'єктів. Крім того, поки не зрозуміло, чи є різниця між білками тваринного і рослинного походження. Насправді вміст сірковмісних амінокислот у зернових і більшості рослинних білків (за винятком бобових) близький до їх вмісту в м'ясі й молочних продуктах. Тож, беручи до уваги наявну невизначеність, рекомендується для мінімізації утворення каменів у нирках у пацієнтів, які належать до групи ризику, дотримуватися споживання білка на безпечному рівні (0,83 г/кг маси тіла на день), але не перевищуючи 1,4 г/кг на день, і віддавати перевагу рослинним джерелам білка.

1.5.2 Здоров'я кісток

Взаємозв'язок між споживанням білка та здоров'ям кісток виявився складнішим, ніж вважалося раніше, оскільки потенційний негативний вплив білка на баланс кальцію є функцією загального кислотно-лужного балансу їжі, а білок, можливо, має прямий анаболічний вплив на кістковий матрикс. Науковцями доведено, що дієти з високим вмістом білка можуть призвести до збільшення екскреції кальцію з сечею, що сягає 50 % збільшення кальцію в сечі для випадків подвоєння споживання білка. Мінеральний баланс кісткової тканини дуже чутливий до кислотно-лужного балансу, і кальцій може бути мобілізований з кісток у відповідь на необхідність буферизації кислотного навантаження, спричиненого окисленням сірковмісних амінокислот, метіоніну та цистеїну. Тобто підвищена резорбція кісткової тканини відбувається як наслідок збільшення споживання білка. Однак у добре збалансованих дієтах, що містять достатню кількість фруктів і овочів (основного харчового джерела калію), харчовий білок, найімовірніше, буде корисним для кісток навіть у кількостях, що перевищують рекомендоване споживання.



1.5.3 Серцево-судинні захворювання

Між споживанням білка та серцево-судинними захворюваннями існує складний взаємозв'язок, який ще не повністю вивчено. Хоча існують дані щодо впливу споживання білка на підвищення артеріального тиску, багато цих досліджень не були сплановані безпосередньо для вивчення питання зв'язку дієти та гіпертензії. Випробування протеїнових добавок, обмеження білків або заміна м'яса вегетаріанськими продуктами загалом дали різні та суперечливі результати, хоча дослідження із соєвим білком значною мірою продемонстрували позитивний вплив. На жаль, основний механізм, за допомогою якого спожитий білок впливає на артеріальний тиск, здебільшого невідомий, хоча на сьогодні існує декілька вірогідних гіпотез, наведених у спеціалізованій літературі.

1.5.4 Онкологічні захворювання

Оскільки захворюваність на рак суттєво зумовлена зовнішніми умовами, ролі дієти у виникненні та розвитку злоякісних пухлин приділяється багато уваги. Але однозначно ступінь цього впливу встановити досить складно. Крім того, хоча й було проведено багато широкомасштабних досліджень для вивчення ролі певних харчових продуктів або джерел їжі, а також енергетичних субстратів і мікроелементів на конкретні види раку, мало хто вивчав конкретно споживання білка. Тому потенційний вплив білка прогнозували на основі досліджень, які вивчали основні групи продуктів, що містять білок (м'ясо, молочні продукти, яйця та риба). Такі дослідження показали, що значне споживання червоного та обробленого м'яса корелює з вищою захворюваністю на колоректальний рак (злоякісна пухлина товстої кишки включно з прямою кишкою); що споживання м'яса та молочних продуктів не впливає на захворюваність на рак шлунку; що споживання овочів і фруктів знижує ризик раку молочної залози. Однак необхідно бути обережним, інтерпретуючи результати цих досліджень через потенційні змішуючі впливи. У цілому дані свідчать, що загальне споживання білка мало впливає на канцерогенні захворювання, але певні продукти, такі як червоне або оброблене м'ясо, можуть збільшити такий ризик порівняно з джерелами рослинного білка.



1.6 Встановлення меж споживання білка

Як зазначалося вище, у розвинених країнах більшість людей споживає білок у кількостях, значно вищих за безпечний рівень, особливо з дієтами на основі м'яса і енергоспоживанням, необхідним для задоволення потреб високого рівня фізичної активності або з додатковим споживанням білка, притаманним молоді й чоловікам, які намагаються збільшити свою мускулатуру. У цих випадках типове споживання білка може сягати 3 г/кг маси тіла з їжею з додатковим 1 г/кг з добавками. Це еквівалентно 320 г/день для чоловіка вагою 80 кг при споживанні енергії, яке відповідає витратам, що вдвічі перевищують рівень основного метаболізму (близько 3800 ккал/день). Хоча систематичних досліджень безпечності такого високого споживання не проводилося, зважаючи на те, що такі харчові звички широко поширені, можна стверджувати, що будь-які несприятливі наслідки є непомітними, довгостроковими чи невідомими. Найчастіше згадувані потенційні проблеми стосуються функції та ушкодження нирок, але, як зазначалося вище, докази таких тверджень у здорових людей не витримують перевірки. Подібним чином будь-який несприятливий вплив на мінеральний баланс кісткової тканини, як видається, достатньо адекватно врівноважується позитивним впливом вправ з обтяженнями під час силових тренувань, судячи з даних про високий вміст мінеральних речовин у кістках спортсменів силових видів спорту.

Таким чином, все ще не існує достатньої інформації, яка допомогла б встановити верхню межу здатності здорових людей метаболізувати білок чи означити симптоми, які можуть виникнути внаслідок перевищення такого рівня. Додаткові докази необхідності встановлення максимальної межі споживання білка можна отримати з історичних записів та антропологічних досліджень, які свідчать про те, що дуже високе споживання білка може бути токсичним. Зокрема, в історичній літературі зустрічається харчовий статус, відомий як «кроляче голодування». Оскільки м'ясо кроля має дуже низький вміст жиру, споживання достатньої для задоволення енергетичних потреб кількості такого м'яса призводить до дуже високого споживання білка: отримання понад 45 % харчової енергії у вигляді білка викликало нудоту і діареї протягом 3 днів і призводило до смерті



через декілька тижнів. Вплив дієти з дуже високим співвідношенням білок:енергія досліджувався експериментально на двох дослідниках Арктики, за якими уважно спостерігали протягом року під час споживання виключно м'ясної дієти. Увесь цей час вони залишалися у формі та були здоровими, але коли один із них вживав лише нежирне м'ясо (приблизно 60 % енергії у вигляді білка), незабаром з'явилися симптоми «кролячого голодування». Ці симптоми швидко зникали, коли вміст жиру в раціоні було відновлено (15...25 % енергії у вигляді білка). Це узгоджується з аналізом археологічних доказів харчової практики популяцій мисливців-збирачів, а також сучасних мисливців-збирачів, які свідчать про те, що люди уникають споживання білка, що перевищує приблизно 40 % споживаної енергії в раціоні, навіть якщо споживають в основному м'ясо.

Очевидно, що в ранньому віці метаболічна здатність переробляти білок може бути менш розвиненою. Хоча вважається, що амінокислоти дійсно становлять основну частину субстратів для метаболізму плода, після пологів, особливо у недоношених новонароджених, є чіткі докази того, що дуже високе споживання білка може бути шкідливим. Для немовлят і дітей раннього віку додатковий білок може покращити лінійний зріст, якщо існуючі дієти є бідними з точки зору білка та інших важливих поживних речовин, однак немає жодних доказів користі споживання додаткового білка вище, ніж у повноцінних дієтах.

Сучасних знань про зв'язок між споживанням білка та здоров'ям недостатньо, щоб дати чіткі рекомендації щодо оптимального споживання для довгострокового здоров'я або визначити безпечну верхню межу. Для дорослих ризику та переваги з точки зору багатофакторних захворювань є складними і недостатньо доказів, щоб зробити конкретні висновки. Поточні моделі білкових та енергетичних потреб визначають малорухливих людей похилого віку як групу ризику дефіциту білка, що разом із доказами сприятливого впливу дієтичного білка на кісткову тканину літніх людей, свідчить про те, що слід звернути увагу на забезпечення цієї конкретної групи населення їжею з високим вмістом білка.

Що стосується безпечної верхньої межі для дорослих, то споживання вдвічі більше рекомендованої кількості, раніше визначеної як безпечна верхня межа,



ймовірно, буде безпечним, оскільки воно дорівнює споживанню білка фізично активними особами, які використовують змішану дієту (можуть бути визнані такими, що ведуть здоровий спосіб життя). Також зрозуміло, що існує верхня межа вмісту білка в їжі, яку людина може ідентифікувати у вигляді нудоти та діареї «кролячого голодування», хоча точну величину цієї межі не встановлено. Багато людей здатні споживати порції білка, що в 3...4 рази перевищують рекомендовану дозу, протягом відносно тривалих періодів часу без прояву таких симптомів. Однак, хоча й немає конкретних доказів шкоди, враховуючи відсутність доказів користі з точки зору спортивних результатів або статури, було б розумно уникати такого рівня споживання. Білок є найбільш ситним макроелементом, і протеїнові добавки можуть призвести до неоптимального споживання крохмалистих продуктів, необхідних як для підтримання працездатності, так і для довгострокового здоров'я, а також до недостатнього споживання фруктів і овочів, необхідних для буферизації кислотного навантаження, зумовленого білком, із негативними наслідками для кісток. Дієти з високим вмістом білка можуть прискорити окислення амінокислот, викликане фізичними вправами, особливо у нетренованих осіб і людей з недостатнім споживанням енергії, а також підвищити ризик негативного балансу азоту та втрати сухої маси тіла між періодами тренувань, коли високе споживання знижується. Очевидно, що з мінімальним споживанням білка для підтримання відповідного складу тіла та функцій, яке, ймовірно, набагато нижче, ніж споживання індивідуумами, що ведуть здоровий спосіб життя і вживають звичайні змішані дієти, існує потреба покращити розуміння взаємозв'язку між споживанням білка та загальним станом здоров'я. Це особливо важлива сфера для майбутніх досліджень.

1.6.1 Безпечні рівні споживання білка для окремих осіб і груп населення

Потреба в білку виводиться як середнє (або медіанне) значення групи з її дисперсією. Для людини *безпечне індивідуальне споживання* було визначено як 97,5 перцентиль розподілу індивідуальних потреб. Тобто будь-яка особа, що отримує таку кількість, матиме дуже низький (<2,5 %) ризик дефіциту (споживання менше потреби). Для популяції *безпечне популяційне споживання* не



можна визначити як просту функцію середньої потреби, адже ризик дефіциту залежить від розподілу як індивідуальних потреб, так і споживання. У більшості випадків це значення буде більшим, ніж безпечне індивідуальне споживання, і за звичайних обставин, коли стандартне споживання перевищує стандартну потребу, безпечне споживання населенням наблизатиметься до значення, яке дещо перевищує потребу.

Віковий діапазон для дорослих зазвичай становить від 18 років до старості, за винятком випадків, коли потреба в білку пов'язана з потребою в енергії. Для дітей прийнято дещо вужчі діапазони, але вони охоплюють дуже широкі коливання ваги тіла. Наприклад, для хлопчиків 3...5 років допустимий діапазон маси тіла змінюється від 12 кг (3 роки, 5-й перцентиль) до 23 кг (5 років, 95-й перцентиль).

1.6.2 Відношення до маси тіла

Потреби в білках визначаються як кількість на кілограм маси тіла суб'єктів, вага яких знаходиться в допустимих межах для певного зросту (дорослі) або віку (діти). Споживання на людину в межах допустимих діапазонів маси тіла може або ґрунтуватися на фактичній вазі, або нормалізуватися на середню вагу. Слід, однак, підкреслити, що для дітей, у яких діапазон маси тіла в прийнятних для віку межах є дуже широким, останній підхід буде значно недооцінювати або переоцінювати потреби тих, хто знаходиться в крайніх точках розподілу.

1.6.3 Потреба дорослих у білках

Потреба в білку для дорослих (понад 18 років) чоловіків і жінок з різною масою тіла наведена в табл. 1. Для дорослих потреба в білку на кг маси тіла вважається однаковою для обох статей, у будь-якому віці та для всіх мас тіла в межах прийнятної норми діапазону. Величина безпечного рівня споживання становить 0,83 г/кг маси тіла на день для білків зі значенням амінокислот, скоригованим на засвоюваність білка, рівним 1. Безпечна верхня межі не визначена, і є малоймовірним, що споживання вдвічі понад безпечний рівень пов'язане з будь-яким ризиком. Але рекомендується бути обережними тим, хто планує споживати дуже високі кількості білка, які в 3...4 рази перевищують безпечний рівень,



оскільки таке споживання наближається до допустимої верхньої межі і не може вважатися безризиковим.

Таблиця 1 — Безпечний рівень споживання білка для дорослих обох статей

Вага тіла, кг	Безпечний рівень споживання, г/добу
40	33
45	37
50	42
55	46
60	50
65	54
70	58
75	62
80	66

Джерело: рекомендації ФАО/ВООЗ/УООН (2007)

1.6.4 Потреби немовлят, дітей та підлітків

Потреба немовлят, дітей та підлітків (окремо хлопчиків і дівчаток) у білку наведена в табл. 2. Рекомендується, щоб розрахунок потреби білка для цієї вікової групи проводився у два етапи: спочатку потрібно отримати потребу на кілограм маси тіла відповідно до вікового діапазону; по-друге, цю потребу слід помножити або на фактичну вагу, або на середню вагу для віку, щоб отримати загальну потребу.

Таблиця 2 — Безпечний рівень споживання білка для немовлят, дітей та підлітків обох статей

Вік (роки)	Безпечний рівень споживання					
	хлопчики			дівчата		
	Вага, кг	кількість білка		Вага, кг	кількість білка	
		г/кг/добу	г/добу		г/кг/добу	г/добу
0,5	7,8	1,31	10,2	7,2	1,31	9,4
1	10,2	1,14	11,6	9,5	1,14	10,8
1,5	11,5	1,03	11,8	10,8	1,03	11,1
2	12,3	0,97	11,9	11,8	0,97	11,4
3	14,6	0,90	13,1	14,1	0,90	12,7
4...6	19,7	0,87	17,1	18,6	0,87	16,2
7...10	28,1	0,92	25,9	28,5	0,92	26,2
11...14	45,0	0,90	40,5	46,1	0,89	41,0
15...18	66,5	0,87	57,9	56,4	0,84	47,4

Джерело: рекомендації ФАО/ВООЗ/УООН (2007)



Вага тіла у таблиці наведена як орієнтир, який слід використовувати, коли фактична вага невідома. У кожному віковому діапазоні прийнятна маса тіла може відрізнятись майже в 2 рази. Для докладнішого розрахунку потреб дітей, якщо дані щодо їх фактичної ваги недоступні, дослідник повинен прийняти середню вагу відповідного віку згідно з рекомендаціями ВООЗ.

1.6.5 Потреба жінок у білках під час вагітності та годування груддю

Особливі потреби в білках під час вагітності та лактації наведені в табл. 3 як додаткові добові норми споживання білка з їжею та відповідні співвідношення білок:енергія. Хоча раніше рекомендувалося єдине значення додаткового білка протягом усієї вагітності, останні дослідження не показують жодних запасів білків у матері на ранніх термінах вагітності, тому для кожного триместру рекомендується збільшувати цю кількість. При цьому наголошується, що додатковий білок слід отримувати, споживаючи більшу частину його зі звичайного раціону, а не як добавки.

Таблиця 3 — Додаткові потреби в білку під час вагітності та лактації

Триместр вагітності	Безпечне споживання, г/день	Додаткова потреба в енергії, кДж/день	Співвідношення білок:енергія
1	1	375	0,04
2	10	1200	0,11
3	31	1950	0,23
Лактація:			
перші 6 місяців	19	2800	0,11
після 6 місяців	13	1925	0,11

Джерело: рекомендації FAO/ВООЗ/УООН (2007)

1.6.6 Поправки на білкову якість раціону

Коли споживання певних дієт розраховується відповідно до вимог або коли дієти оцінюються з точки зору їх адекватності, потрібно провести коригування якості білка, щоб оцінити фізіологічно доступний білок, таким чином: загальний вміст білка в раціоні = загальний азот × 6,25. Додатково слід зробити поправку на якість білка з точки зору як його загальної засвоюваності, так і засвоюваності окремих амінокислот. Тобто доступний білок у раціоні може бути обчислений як добуток загальної кількості спожитого білка на амінокислотний коефіцієнт



лімітуючої амінокислоти з врахуванням їх засвоюваності (див. розділ 4). Ці скориговані харчові значення потім використовуються або як вимоги, або як норми споживання білки.



CHAPTER 2 / РОЗДІЛ 2

METHODS OF ASSESSMENT OF THE PROTEIN COMPOSITE OF FOOD

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ БІЛКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ЇЖИ

2.1 Основні підходи в методології визначення якості білка

Оцінювання якості білка має на меті визначити здатність джерела харчового білка чи раціону задовольняти фізіологічні потреби людини в білку та незамінному амінокислотному азоті, тобто метаболічні потреби (див. розділ 1) для підтримання нормального функціонування організму. Додатково слід враховувати підвищені потреби в білку для нормального росту немовлят і дітей, в період вагітності та годування грудьми у жінок. Таким чином, єдиними справді дієвими показниками якості білка для людини є ті, які безпосередньо оцінюють ефективність використання різних джерел білка для забезпечення нормального росту та/або інших функцій, що залежать від адекватного білкового харчування цільової групи споживачів. Незважаючи на це, вже традиційне, формулювання ідеальної методології, оцінювання якості білка для різних груп населення протягом останніх десятиліть спиралося на непрямі підходи, які передбачають проведення аналізів *in vitro* і метаболічних досліджень на тваринах. Лише в останній час з'являються методики досліджень, які можна регулярно та безпечно проводити на людях і використовувати для прогнозування ефективності використання білка й навіть окремих амінокислот в організмі. Щоб забезпечити точність і широку застосованість, традиційні й новітні методи повинні включати всі основні параметри, які сумарно характеризують якість білка: абсолютні та відносні кількості незамінних амінокислот, засвоюваність білка та біодоступність окремих амінокислот.

Важлива концептуальна складність полягає у встановленні значень якості окремих білків і дієтичних білкових сумішей, завдяки чому можна буде точно передбачити їх використання в харчуванні людини в абсолютному виразі. Це пояснюється тим, що у більшості випадків використання білка в харчуванні людини виявляється неефективним, незалежно від харчового джерела. Свідченням цього є факт, що значення потреби дорослої людини в якісному білку, визначене



в дослідженнях балансу азоту, приблизно вдвічі перевищує значення обов'язкових втрат азоту — що означає чисте використання білка на рівні близько 50 %. Лише за певних обставин — таких як швидке зростання (наприклад, під час надолуження від недоїдання), використання протеїну спожитого білкового раціону наближається до значень, досягнутих у дослідженнях зростання тварин. Хоча причини цього погано вивчені й можуть відображати адаптивний характер використання білка людиною, низька загальна ефективність використання білка в харчуванні людини давно визнана. Тому на практиці оцінювання якості білка має на меті передбачити відносне використання різних джерел білка, а не абсолютні значення цих величин.

Загальновідомо, що клінічні дослідження на людях, які вимірюють зростання та/або інші метаболічні показники, включаючи баланс азоту, забезпечують найточнішу оцінку якості білка. Однак з міркувань вартості подібних досліджень та їх етичної складової вважається недоцільним регулярно вимірювати якість білка за допомогою таких методів. Тому від моменту встановлення факту важливості білкової складової у харчуванні людини проводився пошук ефективних методик оцінювання різних білкових продуктів і раціонів, що могли б бути проведені на тваринах або навіть розрахунковим способом. Найпростішим для сприйняття і одним з найдавніших є принцип вимірювання білкової ефективності їжі як показника впливу на стимулювання росту тварин. З 1919 року в багатьох країнах світу використовувався метод коефіцієнта ефективності білка (КЕБ, *англ.* PER, див. пп. 2.3.1), який характеризує здатність білка підтримувати ріст молодих щурів, оскільки вважалося, що цей метод є найкращим показником клінічних тестів. Однак після десятиліть використання було накопичено достатньо наукових даних, які свідчили, що КЕБ завищує значення деяких тваринних білків для росту людини, водночас недооцінюючи значення білків рослинного походження. Причиною цієї невідповідності є швидке зростання щурів (що збільшує потребу в незамінних амінокислотах), порівняно з темпами росту людини. Але ця розбіжність викликає проблеми швидше економічного характеру, ніж проблеми забезпечення здоров'я, оскільки КЕБ зазвичай «помиляється» у більший бік.



Наступні методи, які й до сьогодні використовуються для вимірювання білкової цінності харчових продуктів і раціонів, були розроблені ще в ті часи, коли питання про потреби людського організму в амінокислотах було недостатньо вивченим. Оскільки ж у більшості цих методів використовуються дослідження на щурах, вони значною мірою характеризують потреби в амінокислотах саме щурів, а не людини. Особливо це стосується рівнів забезпечення сірковмісними амінокислотами (метионіном і цистеїном), в яких щури на етапі активного росту мають набагато більшу потребу. Також щур потребує більше гістидину, ізолейцину, треоніну та валіну. До того ж метод аналізу росту щурів використовує як еталонний білок казеїн. Тож на ріст щура впливає як вміст амінокислот у казеїні, так і потреби щура в певних амінокислотах. Аналіз амінокислотного складу казеїну показує, що цей продукт забезпечує лише 70...87 % рівня сірковмісних амінокислот, необхідних щурам. А тому аналіз, проведений з годуванням щурів казеїном, є перш за все обмежений вмістом цих лімітуючих амінокислот в казеїні. Як результат — процедури аналізу росту щурів на основі казеїнових раціонів не дають змоги точно оцінити ступінь відповідності харчового білка фізіологічним потребам людини. А ця неточність може призвести до суттєвих помилок у національній політиці щодо вибору продуктів харчування і складання харчових раціонів, завдаючи економічних збитків як споживачам, так і виробникам. Було доведено, що у багатьох країнах, національна політика яких в галузі білкової складової харчування базується на дотриманні певного значення КЕБ, це призводило до збільшення вартості продуктів харчування для населення без відчутної користі. У країнах, що розвиваються, де постачання продовольства ускладнене, а кошти для закупівлі їжі обмежені, ця непотрібна залежність від аналізу росту щурів у виборі їжі, яка імпортується або купується для соціальних програм, може мати життєво важливе значення.

Вказаних недоліків можна уникнути, якщо безпосередньо порівнювати джерела харчового білка з амінокислотними потребами організму людини. Тому як альтернатива КЕБ було запропоновано визначати білковий коефіцієнт (відомий також в незначних варіаціях методик обчислення під назвами амінокислотний



скор, амінокислотне число, відсоток адекватності білка). Однак в подальшому було встановлено, що якість лише деяких білків можна оцінити безпосередньо за допомогою амінокислотного коефіцієнту (АкК), для інших же цей показник може втрачати об'єктивність через погану засвоюваність та/або знижену біодоступність. Тож на сьогодні саме вимірювання амінокислотного складу з врахуванням показника засвоюваності білка в цілому чи навіть окремих амінокислот вважається одним з найперспективніших методів, забезпечуючи необхідну точність прогнозування якості білка продуктів та раціонів харчування людини.

Узагальнений огляд і характеристика усіх наявних на той час методів оцінювання якості білка, включно з тими, які базуються на рості щурів і балансі азоту, а також методів кількісного підрахунку амінокислот, вперше на міжнародному рівні було здійснено на конференції ФАО/ВООЗ в 1981 році, що брала до уваги окремі висновки попередніх зборів 1957 і 1966 років. Пізніше до цієї роботи долучився Комітет з рослинних білків, який п'ять разів збирався в період між 1982 і 1989 роками під егідою Комісії Codex Alimentarius. Продовжили ці узагальнюючі дослідження експерти груп ФАО/ВООЗ на своїх консультативних зборах у 2002, 2011 і 2014 роках.

Вже на конференції 1981 року було в цілому погоджено, що метод визначення коефіцієнта ефективності білка (КЕБ) слід замінити більш точним і відповідним методом. І хоча на той час вже існували методики, що базувалися на цьому ж принципі вимірювання збільшення маси і були досконалішими за КЕБ, експерти визнали, що метод, заснований на порівнянні вмісту амінокислот у їжі з потребами людини в амінокислотах (система оцінювання амінокислот), є найпридатнішим підходом в оцінюванні якості білкової складової харчових продуктів і раціонів. Також було рекомендовано коригувати оцінку амінокислот з врахуванням неповної засвоюваності білка та можливої відсутності окремих амінокислот, особливо тих, які чутливі до пошкодження в ході оброблення сировини чи приготування їжі перед споживанням. Ця конференція визнала необхідність подальших досліджень для стандартизації методології аналізу амінокислот, вдосконалення методів визначення засвоюваності білка та біодоступності окремих



амінокислот, а також для подальшого дослідження потреб людини в амінокислотах з метою складання точних амінокислотних моделей оцінювання.

Ці рекомендації були враховані Комітетом Кодексу з рослинних білків (CCVP — *англ.* Codex Committee on Vegetable Proteins) (Комісія Codex Alimentarius), яка була створена для розроблення міжнародних стандартів (включаючи вимоги до якості білків) для рослинних білкових продуктів. На своїй заключній п'ятій сесії у 1989 році члени цього комітету погодили, що якість білка можна прогнозувати на основі порівняння структури його амінокислотного складу зі структурою потреб людини в амінокислотах з поправкою на їх засвоюваність. Запропоновану методику PDCAAS (див. п. 4.1) було визнано найпридатнішою для поточного оцінювання якості білка рослинних білкових продуктів та інших харчових раціонів.

Останні на сьогодні консультативні збори групи експертів FAO/WHO, що займалася виключно питаннями дослідження підходів і методів оцінювання білкової якості їжі людини (2014 р.) узагальнили усі доступні дані щодо різних методів оцінювання якості білка. Для полегшення прийняття рішень щодо придатності й потенційного застосування наявних методів і методик, які можуть бути розроблені в майбутньому, група вирішила сформулювати характеристики «ідеального» методу оцінювання білкової складової їжі, склавши перелік його характеристик і параметрів.

2.2 Вимоги до «ідеального» методу оцінювання білкової складової їжі

Визнаючи важливість врахування амінокислотного складу білка, насамперед було наголошено на необхідності врахування біодоступності окремих амінокислот. Цим поняттям експерти означили три властивості харчових продуктів, які можуть змінювати частку використаних у фізіологічних процесах людини амінокислот:

- ✓ засвоюваність (показник чистого поглинання амінокислоти організмом людини);



✓ хімічна цілісність (частка амінокислот, яка після поглинання знаходиться у придатній для фізіологічного використання формі);

✓ відсутність речовин, які обмежують використання амінокислот внаслідок втручання в харчовий обмін.

У деяких випадках синонімом біодоступності може бути формулювання «метаболічна доступність» — показник загального перетравлення, всмоктування та метаболічного використання харчового білка для синтезу білка амінокислот.

У ході обговорення експертами було сформульовано декілька основних вимог і загальних підходів до згаданого «ідеального» методу:

➤ Першою і найважливішою характеристикою була б можливість проводити прямі вимірювання на людях. До того ж такий метод має бути мінімально інвазивним, інакше залучення суб'єктів дослідження та схвалення відповідними комітетами з етики людини стає потенційним обмежувальним фактором. З врахуванням наявних на той час даних більшість експертів визнала цю вимогу потенційно важкодосяжною, зважаючи на дефіцит неінвазивних методів вимірювання та етичні міркування. Тому було запропоновано прийняти за основу методи, застосовні до тварин, якщо буде проведено достатнє порівняльне дослідження між видами для розроблення прийнятно точних прогнозів біодоступності амінокислот в організмі людини.

➤ Ідеальний метод також мав би бути безпосередньо застосовуваний на всіх стадіях життя людини та в будь-яких умовах, які могли б вплинути на травлення, засвоєння та метаболізм амінокислот, а отже, на біодоступність. Ці стани людини включатимуть, серед іншого, вік, стан здоров'я, генетичні особливості, стан довілля, попередній статус харчування, наявність паразитизму тощо.

➤ Щоб відповідати фактичним умовам, метод має бути застосовним до якнайширшого можливого діапазону харчових продуктів і давати можливість аналізувати готові страви у формі, яку споживає людина. З точки зору охорони здоров'я це означало б включення продуктів з низькою якістю білка (наприклад, зернових), які є звичайними джерелами білкового харчування для людей з низьким рівнем доходу.



➤ Метод повинен бути спроможним відобразити вплив широкого діапазону способів оброблення сировини і приготування їжі на біодоступність білка. Адже відомо, що в ході цих процесів можуть утворюватися фактори, що знижують біодоступність інших амінокислот — наприклад, продукти реакції Майяра знижують біодоступність лізину, а ряд можливих реакцій із крохмалем, цукрами чи мінеральними компонентами раціону впливає на біодоступність цілого ряду амінокислот.

➤ Критично важливою ознакою ідеального методу є здатність вимірювати біодоступність усіх окремих амінокислот, адже деякі з наявних на даний час методик орієнтовані насамперед на отримання інформації про найважливіші незамінні амінокислоти (лізин у більшості зернових, сірковмісні амінокислоти в бобових, триптофан кукурудзи), але не можуть бути застосовані до всіх НАк або до замінних амінокислот (ЗАк). Зрозуміло, що саме НАк мають першочергове значення, оскільки вони будуть обмеженнями для людини в певному конкретному раціоні. Водночас слід пам'ятати, що і ЗАк також важливі в харчуванні людини й вимагають визначення їх рівнів, де це можливо.

➤ Будь-який обраний метод також повинен бути застосованим до змішаних раціонів людини та бути здатним виміряти ефект взаємодоповнення (компліментації) різних білків чи внесення амінокислотних добавок. Адже відомо: якщо загальна якість білка харчового продукту або традиційної змішаної дієти знижується через низьку біодоступність однієї амінокислоти, збагачення їжі джерелами білка, що постачають обмежувальну амінокислоту, або додавання чистої лімітуючої амінокислоти може суттєво збільшити фізіологічну придатність їжі. При цьому варіант додавання окремих амінокислот для підвищення якості білкової складової харчових раціонів слід розглядати лише тоді, коли внесення білкової добавки або взаємодоповнення білкових видів сировини є нездійсненними. Адже користь від додавання амінокислот не була послідовно продемонстрована на людях, а надлишок додаткової амінокислоти, наприклад, синтетичний метіонін, може мати шкідливий вплив на організм немовлят і дітей. Тож було б бажано, щоб прийнятий метод можна було використовувати для виявлення,



вимірювання і обчислення ефекту внесення білкової чи амінокислотної добавки на загальну якість раціону.

➤ Будь-який обраний метод повинен передбачати широке впровадження, оскільки це необхідно для створення достатньо великої бази даних місцевих харчових продуктів і раціонів та методів приготування їжі, щоб виправдати зміну глобальних рекомендацій. У цьому контексті широке впровадження означає, що метод має бути застосовним до широкого кола потенційних користувачів, тобто дослідницьких установ, урядів і промисловості з різними рівнями навичок і базових знань. Тобто метод має бути зрозумілий цим групам, а методологія його проведення має бути чітко визначена, щоб мінімізувати кількість помилок.

➤ Важливим моментом широкого впровадження методу стала б доступна вартість. Метод не повинен вимагати невиправдано великих вибірок дослідження, а питання однорідності одержаних результатів є одним з найважливіших, оскільки розмір вибірки у випадку проведення досліджень на людях має бути мінімальним.

➤ Додатковою перевагою такого методу було б його визнання і прийняття, як мінімум, Комісією Codex Alimentarius. Це означало б, що метод отримає широке визнання та потенційно може бути використаний регуляторними органами для оцінювання тверджень про поживність харчових продуктів і раціонів у відповідній галузі промисловості.

Зваживши всі ці вимоги, група дійшла висновку, що «ідеального» методу наразі не існує, оскільки жоден з існуючих не відповідає усім зазначеним критеріям. Тому можливим і допустимим є комбінування існуючих методик залежно від конкретних цілей дослідження або досліджуваних харчових продуктів.

Також група експертів акцентувала увагу на тому, що доступність і фізіологічне використання амінокислот не є синонімами. Традиційно методи, розроблені для визначення біодоступності амінокислот, зосереджені на кишковому всмоктуванні або засвоюваності, що розраховується як частка спожитої амінокислоти, яка не з'являється у фекаліях. Хоча було досягнуто значного наукового прогресу у визначенні «справжньої засвоюваності амінокислот у клубовій



кишці» та «справжньої засвоюваності реактивного лізину в клубовій кишці», методи, засновані на засвоюваності, не завжди можуть повністю враховувати всі фактори, пов'язані з ендогенними втратами або всмоктуванням амінокислот у кишечнику, недоступність амінокислот внаслідок термічного оброблення або наявність антиаліментарних факторів. Тому існує потреба час від часу застосовувати біотести на основі росту (такі як метод індикаторного окислення амінокислот ІААО, див. пп. 2.3.5). За деяких обставин можна використовувати навіть класичний метод КЕБ, якщо є сумніви щодо якості білка їжі або дієти.

Водночас експерти зазначили, що в харчуванні людини потреба в амінокислотах для росту є незначною, за винятком раннього періоду життя. Це головне обмеження у використанні моделей росту тварин для оцінювання загальної якості білка, оскільки такі випробування можуть недооцінювати якість білкової складової для харчування людини. У подальшому ж слід накопичити достатньо даних, щоб уможливити практичний перехід від найефективнішого на сьогодні підходу PDCAAS, запропонованого Комісією Codex Alimentarius, до теоретично більш точного методу DIAAS (див. п. 4.2) для оцінювання якості білка в харчових продуктах і раціонах людини.

2.3 Медико-біологічні методи оцінювання якості білкової складової їжі

2.3.1 Коефіцієнт білкової ефективності (КЕБ, англ. PER)

Величина КЕБ визначається як збільшення ваги тестової групи тварин (найчастіше — щурів) до маси спожитого білка. Цей метод до останнього часу був офіційним методом оцінювання якості білкової складової харчових продуктів і раціонів у багатьох країнах світу. Однак з розвитком теорії та експериментальних досліджень він зазнавав все більшої критики. Основною вадою методу визнано його орієнтацію насамперед на білок, який використовується для підтримання росту. Тож якщо джерело білка не може підтримувати ріст — воно буде мати показник КЕБ, близький до нуля. Через цю особливість значення КЕБ різних білків не пропорційні їх важливості для організму людини. Бо ж неможливо



припустити, що білок, для якого КЕБ становить 2, буде удвічі кращим за білок з показником КЕБ на рівні 1 (деякі значення КЕБ наведено у табл. 4).

Таблиця 4 — Значення КЕБ деяких харчових продуктів

Продукт	КЕБ	Пшеничне борошно	0,7
Яйце ціле	3,1	Мигдаль	0,4
Яєчний білок	3	Сочевиця варена	0,3
Яловичина, м'язова тканина	2,7	Желатин або гідролізований колаген	0
Риба	2,7		
Нирки, яловичина	2,7	Джерело: https://inspection.canada.ca/food-labels/labelling/industry/nutrition-labelling/elements-within-the-nutrition-facts-table/eng/1613599715710/1613599936553#s10c7	
Печінка, яловичина	2,7		
М'ясо, баранина	2,7		
Свинина, шинка	2,7		
Свиняча вирізка	2,7		
Птиця	2,7		
Молюски	2,7		
Яловича селямі	2,6		
Сироватка суха	2,6		
Казеїн	2,5		
Сир чеддер	2,5		
Молоко	2,5		
Нут варений	2,32		
Соеві боби варені	2,3		
Курячі сосиски	2,1		
Сардельки	2,1		
Соевий білок	2		
Рагу з яловичини	1,8		
Овес плющений	1,8		
Ячмінь	1,7		
Арахіс	1,7		
Ковбаса	1,7		
Квасоля	1,55		
Рис	1,5		
Горох колотий жовтий	1,42		
Булгур пшеничний	1,4		
Кукурудза ціла	1,4		
Сочевиця ціла зелена	1,3		
Жито	1,3		
Горохове борошно	1,2		
Насіння соняшнику	1,2		
Хліб білий	1		
Пшениця цільна	0,8		



Відсутність пропорційності до якості білка робить метод КЕБ непридатним для оцінювання джерела білка та встановлення величини рекомендованого білкового споживання, що раніше визначалося як добуток добової норми споживання на показник КЕБ. Тож уже на першому об'єднаному консультативному засіданні експертів ФАО/ВООЗ у 1981 році було погоджено, що КЕБ слід замінити більш відповідним і точним методом.

2.3.2 Показник утилізації білка після споживання їжі (PPU)

Відомо, що харчовий білок забезпечує як обов'язкові, так і адаптивні метаболічні потреби, які виникають протягом добового циклу життєдіяльності людини. Теорією методу PPU передбачається, що окислення амінокислоти лейцину в постабсорбційному стані характеризує загальне окислення амінокислот їжі й виведення азоту в результаті втрати його тканинним білком. Будь-яке посилення процесу окислення лейцину під час вживання певного білкового продукту чи раціону свідчатиме про неефективність використання спожитого білка. Показник PPU розраховується на основі кумулятивного підвищеного окислення та споживання азоту після перетворення використаного лейцину в азот для врахування відмінностей у співвідношеннях лейцин:азот у їжі й тканинах.

Принцип вимірювання PPU полягає в тому, що використання білка вимірюється під час споживання їжі, що становить 50 % від звичайного добового споживання. Це означає, що споживання білка не перевищує здатність чистого відкладення білка, що може обмежити його використання. Склад їжі повинен відображати мету дослідження — тобто оцінювання білка з одного джерела або білка зі змішаного раціону. Традиційно обирають раціон із відносно високою білково-енергетичною цінністю, тобто такий, що містить не менше 0,5 г білка на 1 кг маси тіла та 30 кДж/кг, і з мінімальним вмістом жиру. Для змішаних страв, особливо тих, які базуються на джерелах рослинного білка, де важко досягти рівня 0,5 г білка/кг з одного приймання їжі, який можна було б споживати протягом короткого періоду часу, мінімально допустимим є забезпечити 0,3 г білка/кг.

Підхід передбачає вимірювання окислення ^{13}C -1 лейцину та його балансу у відповідь на споживання їжі в ході постійної інфузії слідових кількостей ^{13}C -1



лейцину. Зміна балансу лейцину у відсотках до зміни споживання лейцину є показником ефективності утилізації протеїну (PPU), подібно до чистої утилізації протеїну (NPU — *англ.* net protein utilization), але дає більш реалістичні значення.

Процедура включає два протоколи. У кожному з них баланс лейцину (споживання лейцину : окислення лейцину) прирівнюється до балансу азоту на основі коефіцієнтів перетворення лейцину в азот для тканинного білка і порівнюється з фактичним споживанням азоту з їжею.

Перший протокол — аналіз у стаціонарному стані, що складається з трьох послідовних 3-годинних періодів голодування, годування з низьким вмістом білка та годування з високим вмістом білка під час постійної внутрішньовенної інфузії ^{13}C -1 лейцину. Дієти як з низьким вмістом білка (НБ), так і з високим вмістом білка (ВБ) споживаються невеликими порціями з 30-хвилинними інтервалами з метою досягти метаболічного стабільного стану. Для такого протоколу, коли як НБ, так і ВБ харчування є ізоенергетичними, на PPU впливатиме лише споживання білка (рівні інсуліну не змінюються) і розраховується за нахилом кривої N балансу між НБ і ВБ харчуванням.

Другий протокол також передбачає 9-годинну внутрішньовенну інфузію ^{13}C -1 лейцину. Але після початкової 3-годинної інфузії натщесерце проводять одноразове приймання їжі, а кумулятивне збільшення окислення лейцину вимірюють протягом шести годин після споживання їжі, щоб отримати значення утилізації азоту, яке визначатиметься як різниця між споживанням азоту та його надлишковою екскрецією. За цим протоколом на PPU впливає як білковий, так і енергетичний компонент їжі, причому збільшення частки енергетичного компоненту підвищує рівень інсуліну й пригнічує протеоліз.

Обидва протоколи показали свою високу ефективність і давали схожі значення PPU для молочного та пшеничного білків. Тож група експертів ФАО/ВООЗ вирішила оцінити придатність цих протоколів для встановлення основних характеристик якості білка, тобто засвоюваності й біологічної цінності. Якщо PPU досліджуваного білка або страви порівнювати з PPU, отриманим із їжі на основі суміші амінокислот, розробленої відповідно до амінокислотного



складу досліджуваного білка, можна припустити, що будь-яка різниця в RPU між досліджуваним білком і амінокислотою сумішшю буде обумовлена лише засвоюваністю. Тоді RPU їжі з вільними амінокислотами буде відображати їх біологічну цінність (амінокислотне число), тоді як RPU тестової їжі відображатиме засвоюваність з врахуванням біологічної доступності протеїну. Такий підхід даватиме змогу повноцінно вимірювати якість білкової складової окремих продуктів і змішаних раціонів.

На прикладі пшеничного білка було встановлено, що саме протокол одноразового приймання їжі набагато чутливіший до змін засвоюваності. Ця різниця між двома методами відображає спосіб обчислення RPU у різних протоколах. Незважаючи на те, що в кожному випадку як споживання, так і баланс (споживання:втрата) у розрахунку впливають на припущення про засвоюваність пшеничного білка, розрахунок стаціонарного нахилу кривої внаслідок багаторазового невеликого приймання їжі (зміна балансу як частка зміни споживання) є менш чутливим, ніж розрахунок для одного великого. Навіть не зважаючи на те, що протокол одноразового споживання їжі розглядає сумарний вплив енергії та білка на його використання, можна стверджувати, що це більш релевантно з точки зору фізіології. Тому саме протокол, що передбачає одноразове споживання їжі, був визнаний експертами за придатніший для встановлення показників засвоюваності та біологічної цінності досліджуваного білкового компонента.

Водночас у висновках експертів наголошується, що значення RPU та показник засвоюваності, отримані за допомогою цього методу, як і всі інші запропоновані методи стабільних ізотопів, включаючи ІААО, є мірою використання (фактичної засвоюваності) білка всім організмом, а не мірою втрати з кишечника в будь-якій конкретній точці (кінцева клубова кишка або задній прохід). Таким чином, це інший підхід до значень засвоюваності клубової кишки чи фекалій, виміряних у експериментах на свинях, і не може бути строго порівняний з ними.

2.3.3 Чисте використання білка після споживання (NPPU)

Поживна ефективність харчового білка залежить від того, якою мірою азот харчового білка поглинається та утримується організмом, збалансовуючи добову



втрату азоту. Показник NPPU (*англ.* net postprandial protein utilization) — це відсоток споживаного азоту, який зберігається в організмі. Його визначають вимірюванням втрат азоту з травленням, метаболізму (із сечею) та інших втрат як різницю між загальним спожитим харчовим білковим азотом, скоригованим на істинний азот, що перетравлюється клубовою кишкою, та білковим азотом, що піддається дезамінуванню та відновлюється в азоті сечі. На сьогодні NPPU визнано надійним і чутливим методом оцінювання харчової ефективності білка, що враховує справжню засвоюваність азоту білка клубової кишки та частку поглиненого харчового азоту, який утримується в організмі після приймання їжі.

Беручи до уваги наявність ендогенних білків та амінокислот, підхід NPPU використовує мічені стабільними ізотопами харчові білки та амінокислоти для відстеження всмоктування й метаболічної утилізації зв'язаних з білками харчових амінокислот і для диференціації їх від ендогенних білків, амінокислот та похідних метаболітів (зокрема, аміаку та сечовини), які вже присутні у просвіті кишечника та в крові.

Метод широко використовується для різних білкових продуктів і детально описаний у спеціалізованій літературі. Зокрема, за допомогою цього методу було встановлено, що справжня засвоюваність азоту клубової кишки для молочного білка становить 95 %, соєвого і горохового протеїнів — 91 %, білка пшениці — 85...90 %, білка насіння ріпаку — 84 %. Засвоюваність амінокислот після вживання молочного або соєвого білка становила від 91 % (гліцин) до 99 % (тирозин) для молочного та від 89 % (треонін) до 97 % (тирозин) для соєвого білка. Порівняння утилізації азоту з різних джерел білка у дорослих демонструє величини використання білка їжі в діапазоні від 75...93 % для високоякісного білка (як білок молока), до значень 63...66 % для білка нижчої якості (наприклад, пшениці). Специфічні значення NPPU, визначені для молока, ізоляту соєвого білка та пшениці, становили 81 %, 78 % та 66 % відповідно. Такий підхід дає змогу охарактеризувати поживну цінність окремих харчових білків у порядку: тваринний білок (молоко) > бобовий білок (соя, горох) > злаковий білок (пшениця).



Метод NPPU вважається прогресом у оцінці якості харчового білка. Він докладно описаний і апробований в експериментах з людьми, показуючи високий ступінь узгодженості зі значеннями, отриманими за стандартизованою методикою вимірювання справжньої засвоюваності у клубовій кишці (TID, *англ.* true ileal digestibility) свиней. Тобто його можна використовувати для кількісного визначення коригувальних коефіцієнтів, придатних для розрахунку значень DIASS людини за результатами протокольних досліджень TID на свинях. Додатковою суттєвою перевагою методу є те, що в ході одного експерименту отримують дані як про загальний азот, так і про засвоюваність окремих амінокислот їжі.

Водночас, як і інші розглянуті протоколи, цей метод дослідження необхідно поширити на більший діапазон харчових продуктів, які використовуються в харчуванні людини, особливо тих, які мають засвоюваність амінокислот у діапазоні 50...80 %. Це дало б можливість порівнювати результати, отримані різними методами, щодо засвоюваності різних білків, включаючи як високозасвоювані, так і погано засвоювані.

На сьогодні основним недоліком методу є те, що він ґрунтується на використанні ^{15}N як індикатора, а виробництво цього стабільного ізотопу досить високовартісне навіть в сучасних умовах. Крім того, він обмежений лише харчовими продуктами, які можуть бути помічені цим ізотопом. Іншим недоліком теперішньої модифікації методу NPPU є його неприпустима інвазивність для широкого використання в дослідженнях на людях через використання техніки назогастральної інтубації. Ці особливості перешкоджають методу стати основним для поточного застосування. Однак останні результати досліджень свідчать, що цей метод може бути спрощеним і менш інвазивним і, отже, потенційно більш широко застосовуваним, зважаючи на всі його переваги.

2.3.4 Справжня засвоюваність амінокислот у клубовій кишці (TID)

Група експертів ФАО, що зібралася на консультативні збори у 2011 році, дійшла висновку, що наразі важко та дорого визначати справжню засвоюваність амінокислот безпосередньо у клубовій кишці людини. Водночас саме цей показник з найвищою вирогідністю характеризує біодоступність окремих



амінокислот. Тому виникла потреба у виборі й оцінюванні тваринної моделі для поточного визначення їх засвоюваності.

Експертами було визнано, що найбільш поширений в подібних дослідженнях щур, будучи нічним гризуном з вибірковим харчуванням, що практикує копрофагію, є гіршою тваринною моделлю порівняно зі свинею — всеїдною твариною з подібною до дорослої людини анатомією травного тракту (від рота до клубової кишки) і фізіологією травлення. У випадку з щурами їжу потрібно ретельно подрібнювати перед згодовуванням (що може впливати на засвоюваність поживних речовин), свиня ж, як правило, споживає ту їжу, яку їдять люди, і в тому ж вигляді.

Подібність між зростаючою свинею та дорослою людиною щодо засвоюваності білка й амінокислот добре задокументована. Показники справжньої засвоюваності амінокислот у клубовій кишці та реактивної засвоюваності лізину в клубовій кишці були ретельно перевірені й підтверджені в дослідженнях на свинях. Наявні дані щодо чотирьох джерел білка демонструють тісну міжвидову узгодженість результатів у підростаючих свиней та дорослих людей щодо справжньої засвоюваності амінокислот клубової кишки.

Перевагами подальшого використання саме свині як тваринної моделі для прогнозування засвоюваності амінокислот у людини були визнані:

- ✓ можливості легкого контролю та стандартизації;
- ✓ великі зразки кишкового травлення;
- ✓ усі амінокислоти можна визначити в одному аналізі;
- ✓ свині їдять широкий вибір продуктів, включаючи практично всі продукти, які споживає людина;
- ✓ наявність лабораторій, придатних для проведення досліджень на свинях.

Обмеженнями свині як моделі є її вартість і можливі майбутні застороги щодо використання тварин з етичних міркувань. Також слід враховувати, що хоча процес перетравлення білка у свині фізіологічно подібний до такого у людини, засвоюваність білка навряд чи буде ідентичною, особливо в специфічних кліматичних умовах чи фізіологічних станах.



Незважаючи на вказані недоліки, експертна група рекомендувала використовувати отримані за стандартизованою методикою дані справжньої засвоюваності амінокислот клубової кишки свиней (TID) для накопичення повного набору даних щодо засвоюваності амінокислот їжі організмом людини. З цією метою групою було запропоновано стандартизовані протоколи визначення справжньої засвоюваності амінокислот клубової кишки дорослої людини, зростаючою свині та, за необхідності, лабораторного щура.

2.3.5 Метод індикаторного окиснення амінокислот (IAAO)

Оскільки це один із найсучасніших методів біологічного аналізу на людях, що надає дані про біодоступність окремих амінокислот в організмі людини, його детально розглянули на засіданні робочої групи експертів ФАО/ВООЗ в 2014 році. У попередніх рішеннях консультаційних зборів ФАО/ВООЗ відзначалася потенційна перспективність використання 24-годинного балансу IAAO замість або на додаток до 24-годинного балансу азоту для визначення потреби людини в амінокислотах. Метод, заснований на методиці IAAO, був розроблений для вимірювання метаболічної доступності обмежувальної амінокислоти в раціоні свиней і згодом адаптований для організму людини.

Основними перевагами методу IAAO є можливість його використання для оцінювання різних джерел білка та вимірювання біодоступності окремих амінокислот. Це відносно неінвазивний метод, який вимагає лише перорального вживання їжі й стабільного ізотопу та відбирання зразків дихання для аналізу $^{13}\text{CO}_2$. Тому його можна легко адаптувати до звичайного оцінювання біодоступності амінокислот білків у харчуванні людини в різних умовах і в різних країнах. Цей метод дає співставні значення біодоступності амінокислот лізину, треоніну та метіоніну у свині, як і більш інвазивний метод справжньої засвоюваності клубової кишки (TID).

Метод IAAO заснований на відомому факті, що коли будь-яка окрема амінокислота є обмеженням для синтезу білка, всі інші амінокислоти знаходяться в надлишку і тому повинні бути окиснені. Це пов'язано з тим, що вільні амінокислоти не можуть накопичуватися в організмі людини і тому повинні бути



розподілені між включенням у білок або окисненням. У ході методу індикаторна амінокислота підтримується на постійному рівні споживанні, а зниження ІААО є лінійним із поступовим додаванням обмежувальної амінокислоти. Зі збільшенням споживання лімітуючої амінокислоти показник окиснення індикаторної амінокислоти зменшується, що відображає збільшення її включення в білок. Як тільки вимога до лімітуючої амінокислоти задовольняється, подальших змін в окисненні індикаторної амінокислоти не відбувається. Точка перегину, де окиснення індикаторної амінокислоти припиняє зменшуватись і досягає плато, називається «точкою розриву». Ця точка вказує на середнє значення або очікувану середню фізіологічну потребу в досліджуваній амінокислоті. Тож метод можна також використовувати для перевірки зміни чистого синтезу білка зі збільшенням споживання харчового інгредієнта, в якому кількість певної амінокислоти є обмеженою.

Встановлений нахил лінії окиснення для харчових продуктів і раціонів порівняно з нахилом лінії окиснення для тієї самої амінокислоти, що постачається як 100 % біодоступна синтетична амінокислота, дає змогу обчислити коефіцієнт нахилу. При певному споживанні амінокислоти відносна різниця в швидкості ІААО між досліджуваним і еталонним білками буде пропорційна загальній кількості доступної досліджуваної амінокислоти для синтезу білка, і, таким чином, враховуватиме всі втрати дієтичних амінокислот під час травлення, всмоктування та клітинного метаболізму. Нахил прямої окиснення, отриманий з кристалічною формою досліджуваної амінокислоти, являє собою максимальне одиничне збільшення чистого синтезу білка та еквівалентний 100 % біодоступності досліджуваної амінокислоти. Більш пологий нахил вказує на те, що доступно менше амінокислот на одиницю споживання для підтримання чистого синтезу білка. Таким чином, співвідношення нахилів може бути використане як показник біодоступності обмежувальної амінокислоти в їжі.

У цифровому виразі ця біодоступність може бути розрахована як зміна окиснення на грам зв'язаної з білком амінокислоти, поділена на зміну окиснення на грам вільної амінокислоти. Подібний підхід до розрахунку має кілька переваг.



Оскільки виміряна відповідь є відносною зміною, а не абсолютним значенням, це зменшить вплив міжлабораторних розбіжностей. Це також означає, що відмінності в рівнях чистого синтезу білка між суб'єктами не матимуть впливу, оскільки окремі особи використовуються як їхні особисті контрольні зразки. На сьогодні підхід ІААО набув значного поширення у дослідженнях на свинях для визначення наявності амінокислот, пов'язаних з білками в їжі (включаючи лізин, треонін і метіонін), а також на людях для метіоніну та лізину.

Водночас експерти відзначали, що існує низка ключових умов, які мають бути виконані для правильного використання ІААО та аналізу коефіцієнта нахилу (біодоступності амінокислот). Тому було розроблено детальний ІААО-протокол для свиней, а також подібний протокол для вимірювання метаболічної доступності амінокислот в організмі людини. Їх дотримання дасть змогу проводити порівняння між ТІД свині та експериментами на людині, необхідне для розрахунку DIAAS людини на основі розширеного база даних ТІД свиней.

Зокрема, у протоколі досліджень людини зазначено, що:

✓ Дієта повинна бути розроблена таким чином, аби забезпечити добове споживання білка на рівні 1 г на 1 кг маси тіла, з приблизним розподілом нутрієнтів 52 %, 36 % і 12 % енергії з вуглеводів, жирів і білків відповідно. У ході всього експерименту суб'єкти повинні щодня вживати полівітамінну добавку та 500 мг холіну, щоб забезпечити достатнє споживання вітамінів. Денна дієта дослідження повинна складатися з 9 ізоазотистих та ізокалорійних прийомів їжі щогодини, кожен з яких має становити одну дванадцяту від загальної добової потреби суб'єкта в білку та енергії. Кожен дослідний день триває 10 годин.

✓ Основна дієта повинна складатися з високозасвоюваного білка, рівень якого має забезпечувати максимум 30 % від харчової потреби тестової амінокислоти. Решту амінокислот слід додавати як вільні амінокислоти.

✓ Як еталонний білок і основу базової дієти рекомендується сироватка, оскільки вона має відносно низький вміст фенілаланіну, і тому можна досліджувати широкий спектр продуктів з високими концентраціями фенілаланіну. До



того ж біодоступність амінокислот у білках молока широко протестована на людях.

✓ Оскільки приготування харчових продуктів може призвести до утворення хімічних комплексів або зміни амінокислот, що робить їх недоступними для синтезу білка, тестову їжу слід готувати типовим способом. Якщо для певної досліджуваної їжі використовуються різноманітні методи приготування, то їх також слід перевірити. Крім того, деякі продукти завжди варять і готують у сумішах і не вживають окремо, тому бажано, якщо це можливо, тестувати компоненти їжі окремо, щоб їх можна було використовувати як добавку, а також тестувати в суміші, як вже приготовану страву.

✓ Як основну тестову амінокислоту для цього методу рекомендується використовувати фенілаланін, який відповідає усім особливостям реалізації методу, однак в подальшому слід розглянути можливість використання як тестової амінокислоти також лейцину.

Зважаючи на те, що існує досить велика база даних ТІД свиней, група експертів рекомендувала провести додаткову кількість досліджень з різноманітними харчовими продуктами, аби розробити надійні прогностичні рівняння і встановити певні коригувальні коефіцієнти між показниками біозасвоєваності амінокислот організмами свині та людини. Це дасть змогу в подальшому орієнтуватися на розрахунковий метод, а додаткові дослідження проводити лише для продуктів, характеристики чи біодоступність яких виходять за рамки дослідженого асортименту харчових продуктів.

Водночас експерти звертають увагу на те, що метод метаболічної доступності ІААО вимірює доступність лише однієї амінокислоти в ході одного експерименту. Тому для кожного продукту знадобиться декілька експериментів. До того ж технічно метод базується на вимірюванні загального використання амінокислот, тому необхідний ретельний контроль, оскільки будь-який фактор, який по-різному впливає на використання амінокислоти з тестової дієти порівняно з еталонною дієтою, вплине на результат. Незважаючи на це, група схвалила метод ІААО і заохочує подальші дослідження для накопичення даних, що



характеризуватимуть різні дієти та продукти різного ступеня засвоюваності і проведення необхідних порівнянь результатів, одержаних в експериментах на свинях і на людях.

2.4 Розрахункові методи оцінювання білкової складової їжі

Складність, висока вартість і етична складова проведення медико-біологічних досліджень щодо оцінювання білка харчових продуктів і раціонів закономірно призвела до пошуку адекватних розрахункових методів. Одним з перших, запропонованим ще у 1957 році на спільному засіданні експертів ФАО і ВООЗ, став метод розрахунку амінокислотного коефіцієнта (амінокислотного скору) як відношення вмісту кожної з незамінних амінокислот в 1 г білка досліджуваного зразка до вмісту цієї ж амінокислоти в 1 г еталонного білка:

$$\text{Амінокислотний коефіцієнт} = \frac{\text{мг амінокислоти в 1 г досліджуваного білка}}{\text{мг амінокислоти в 1 г еталонного білка}}$$

Найчастіше цей показники виражають у відсотках, для чого отримане значення множать на 100 і називають амінокислотним індексом (АкІ). Зважаючи на домінуючий вплив незамінної амінокислоти, що міститься в найменшій кількості (лімітуючої амінокислоти) на ступінь утилізації решти незамінних амінокислот (принцип Мітчела–Блока), прийняли, що біологічна цінність білка буде зумовлена АкІ лімітуючої амінокислоти, а також кількістю амінокислот, АкІ яких менше 100 %. Для обчислення АкІ необхідно мати інформацію щодо вмісту в досліджуваному білку всіх незамінних амінокислот, а також стандартизований склад (формулу) еталонного білка. З врахуванням цього факту разом із запропонованою методикою експертами ФАО/ВООЗ у тому ж 1957 році було запропоновано і перший варіант формули еталонного білка (див. розділ 3).

Приклад. Обчислити АкІ окремих видів сировини та їх суміші з врахуванням величин їх амінокислотного складу, наведеного у табл. 5.

Найчастіше у розрахунках АкІ використовують вже застарілу формулу еталонного білка, затверджену ФАО/ВООЗ у 1971 році (див. розділ 3). Потрібно



враховувати, що на той час амінокислота гістидин не вважалася незамінною, тому в формулі еталонного білка значення її фізіологічної потреби відсутні.

Таблиця 5 — Усереднений амінокислотний склад білків сировини

Незамінна амінокислота	Вміст амінокислоти, мг/1 г білка		
	Борошно пшеничне в/с	Суха пшенична клейковина (СПК)	Ізолят соєвого білка (ІСБ)
Валін	46	41	49
Гістидин	19	23	35
Ізолейцин	42	37	48
Лейцин	79	71	78
Лізін	24	18	65
Метіонін + цистин	34	48	21
Треонін	30	27	44
Триптофан	10	10	13
Фенілаланін + тирозин	78	84	78

Для зручності представимо усі початкові дані та результати обчислення у вигляді табл. 6.

Таблиця 6 — Приклад обчислення Акі для окремого компоненту їжі

Амінокислота (Ак)	Вміст Ак у еталонному білку, мг/г білка	Борошно пшеничне в/с		СПК		ІСБ	
		Вміст Ак, мг/г білка	Акі і лімітуюча Ак	Вміст Ак, мг/г білка	Акі і лімітуюча Ак	Вміст Ак, мг/г білка	Акі і лімітуюча Ак
	А	Б	$B/A \cdot 100$	В	$B/A \cdot 100$	Г	$G/A \cdot 100$
Валін	50	46	92	41	82	49	98
Гістидин	—	19	—	23	—	35	—
Ізолейцин	40	42	105	37	93	48	120
Лейцин	70	79	113	71	101	78	111
Лізін	55	24	44	18	33	65	118
Метионін+ цистин	35	34	97	48	137	21	60
Треонін	40	30	75	27	68	44	110
Триптофан	10	10	100	10	100	13	130
Фенілаланін+ тирозин	60	78	130	84	140	78	130

Якщо потрібно розрахувати Акі суміші декількох компонентів з відомим амінокислотним складом — допускається знаходити шукану величину на основі вмісту амінокислот кожного з компонентів. Для прикладу, хочемо обчислити Акі



суміші, до складу якої входить 70 г пшеничного борошна, 10 г СПК та 20 г ІСБ.

Тоді порядок розрахунку буде таким:

- ✓ обчислити кількість внесеного з кожним із компонентів білка;
- ✓ розрахувати кількість окремих амінокислот, що вносяться з кожним із видів сировини та сумарну кількість кожної з амінокислот у суміші;
- ✓ поділивши отримане значення на результат обчислення першого етапу, дізнатися вміст конкретної амінокислоти в 1 г білка суміші;
- ✓ порівняти одержані дані з вмістом відповідної амінокислоти в 1 г ідеального білка, отримавши значення амінокислотних коефіцієнтів (у частках одиниці) чи амінокислотні індекси (у %).
- ✓ віднайти мінімальне значення серед отриманих, яке і визначатиме АкК чи АкІ суміші.

Для полегшення обчислень їх зручно представляти в табличному вигляді (див. табл. 7), а самі розрахунки допускається проводити лише для найдефіцитніших амінокислот: лізину (Lys), сірковмісних амінокислот (метионін+цистин Met+ Cys), треоніну (Thr) і триптофану (Trp).

Таблиця 7 — Приклад обчислення АкІ суміші декількох компонентів

Компонент суміші	Вміст компоненту в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Кількість білка в суміші, г Ж=А× Б/100	Кількість амінокислот в суміші, мг			
			Lys	Met+ Cys	Thr	Trp		Lys	Met+ Cys	Thr	Trp
			В	Г	Д	Е		В·Ж	Г·Ж	Д·Ж	Е·Ж
Борошно	70	11	24	34	30	10	7,7	185	262	231	77
СПК	10	83	18	48	27	10	8,3	149	398	224	83
ІСБ	20	89	65	21	44	13	17,8	1157	374	783	231
Разом							33,8	1491	1034	1238	391
Вміст АК в 1 г білка суміші, мг								44	31	37	12
Вміст АК в 1 г еталонного білка, мг								55	35	40	10
АкІ (у %) і лімітуюча амінокислота								80	89	93	120

Хоча ця методика обчислення білкової цінності продуктів і раціонів набула широкого розповсюдження, однак вже у 1963 році, на наступному засіданні експертної групи ФАО/ВООЗ, було обґрунтовано доведено, що АкІ не може повною мірою характеризувати біологічну цінність білка, бо вказує лише на рівень



лімітуючої амінокислоти. А відомі факти свідчили, що значна розбалансованість співвідношення амінокислот також має негативний вплив на загальну оцінку білка, навіть якщо кількість незамінних амінокислот є достатньою. Надлишок незамінних амінокислот в білку також є недоцільним, адже в цьому випадку вони будуть неефективно використовуватися організмом лише як джерело азоту або навіть на енергетичні цілі. Тоді ж було запропоновано додатково до обчислення АКІ встановлювати різноманітні співвідношення:

- ✓ незамінних амінокислот і загальної кількості білка (у міліграмах маси суми НАк на 1 грам загального азоту або умовного протеїну);
- ✓ кожної незамінної амінокислоти до загальної кількості незамінних амінокислот (в міліграмах НАк на грам загальної кількості НАк або в грамах азоту конкретної амінокислоти на грам азоту всіх НАк);
- ✓ суми НАк до суми ЗАк тощо.

На основі цих рекомендацій науковою спільнотою було поступово напрацьовано ряд методик розрахункового оцінювання білкової складової, беручи за основу вміст і співвідношення НАк. Однією з перших було запропоновано обчислювати **індекс незамінних амінокислот (індекс Осера)**:

$$I_{NAk} = \sqrt[n]{\frac{Val_{\delta}}{Val_{em}} + \frac{Izol_{\delta}}{Izol_{em}} + \dots + \frac{\Phi + T_{\delta}}{\Phi + T_{em}}}$$

де n — кількість амінокислот, що враховуються в обчисленні;

δ, em — вміст певної амінокислоти у досліджуваному й еталонному білку відповідно.

Приклад. Обчислимо значення індексу Осера для пшеничного борошна, амінокислотний склад якого наведено у табл. 5. За еталон приймаємо формулу білка, запропоновану ФАО/ВООЗ у 1971 році.

$$I_{NAk} = \sqrt[8]{\frac{46}{50} + \frac{42}{40} + \frac{79}{70} + \frac{24}{55} + \frac{34}{35} + \frac{30}{40} + \frac{10}{10} + \frac{78}{60}} = \sqrt[8]{7,6} = 1,3$$



Врахування можливого надлишку незамінних амінокислот, а також кількості замісних передбачає проведення розрахунку за **методом Корпаці-Ліндера-Варга**:

$$IB_{KLB} = 75 \cdot \sqrt[n]{\left(\frac{AK_{\delta\delta}}{AK_{em}} \times \dots \times \frac{AK_{\delta\delta}}{AK_{em}}\right) \left(\frac{AK_{em}}{AK_{m\delta}} \times \dots \times \frac{AK_{em}}{AK_{m\delta}}\right)} + 25 \cdot \left(1 - \frac{\sum ZAK_{\delta} - \sum ZAK_{em}}{\sum ZAK_{em}}\right),$$

де $AK_{\delta\delta}$ — вміст незамінної амінокислоти в досліджуваному білку, кількість якої більша за вміст в еталонному білку, моль %;

$AK_{m\delta}$ — вміст незамінної амінокислоти в досліджуваному білку, кількість якої менша за вміст в еталонному білку, моль %;

$\sum ZAK_{\delta}$, $\sum ZAK_{em}$ — сумарна кількість замісних амінокислот в досліджуваному й еталонному білках відповідно, моль %.

Початково за еталонний білок розробниками методики було прийнято склад білка курячого яйця, хоча подібним чином можна проводити розрахунки й на основі інших еталонів. Методика не набула широкого поширення, адже вимагала визначення кількості усіх не лише незамінних, але й замісних амінокислот.

Обчислення **коефіцієнта розбалансованості амінокислотного складу** (КРАС, %), дає змогу розрахувати середню величину перевищення Акі усіх незамінних амінокислот порівняно з цим значенням для лімітуючої амінокислоти:

$$KPAС = \frac{\sum_{i=1}^n (AKI_i - AKI_{min})}{n}$$

Чим нижчим є показник КРАС, тим збалансованішу амінокислотну формулу має досліджуваний білок.

Наприклад, для пшеничного борошна, білок якого має усереднений амінокислотний склад і значення Акі, наведені у табл. 6, можемо обчислити значення КРАС так:

$$KPAС = \frac{(92 - 44) + (105 - 44) + (113 - 44) + (97 - 44) + (75 - 44) + (100 - 44) + (130 - 44)}{7} = 58 \%$$

Однією з найсучасніших методик, що враховує амінокислотну формулу харчових продуктів, є запропонований проф. Л. Ю. Арсенєвою (НУХТ, м. Київ) комплексний показник оцінювання якості білкової складової — **індекс якості білка** (ІЯ₆), що розраховується за формулою:



$$IЯ_6 = 1 - (1 - АкI_{мин}) \cdot \frac{n \cdot АкI_{мин}}{\sum_{i=1}^n АкI_i}$$

де $АкI_{мин}$ — амінокислотний індекс лімітуючої амінокислоти, частки одиниці;

$АкI_i$ — амінокислотний індекс окремої НАк, частки одиниці;

n — кількість амінокислот, включених у розрахунок.

Чим ближчим буде $IЯ_6$ до 1, тим вищою можна вважати його якість за показником амінокислотного складу та збалансованості НАк.

Для прикладу, індекс якості білка пшеничного борошна за даними, наведеними у табл. 6, буде обчислений як:

$$IЯ_6 = 1 - (1 - 0,44) \cdot \frac{8 \cdot 0,44}{0,92 + 1,05 + 1,13 + 0,44 + 0,97 + 0,75 + 1,00 + 1,30} = 0,74$$

Хоча ці методики з високим ступенем достовірності дають змогу оцінити амінокислотний склад досліджуваних білкових продуктів чи раціонів, вони не дають повного уявлення про їх біологічну цінність. Адже не враховуються такі важливі показники білкової складової, як біодоступність білка (в цілому або на рівні окремих амінокислот). Тому вже з 90-х років минулого століття проводилася робота щодо теоретичного обґрунтування і практичної реалізації розрахункових методів оцінювання білкової складової продуктів і раціонів на основі їх метаболічної доступності. На сьогодні найбільшого поширення набули запропоновані Комітетом з рослинних білків Codex Alimentarius та схвалені об'єднаною консультативною групою ФАО/ВООЗ методики PDCAAS та DIAAS, докладний опис яких наведено у розділі 4.



CHAPTER 3 / РОЗДІЛ 3

REFERENCE PROTEIN AS AN INDICATOR OF AMINO ACID BALANCE

ЕТАЛОННИЙ БЛОК ЯК ПОКАЗНИК ЗБАЛАНСОВАНОСТІ АМІНОКИСЛОТ

3.1 Природний білок як еталон

Відомо, що кількість і тип амінокислот, наявних у харчових продуктах, на пряму впливають на загальну кількість білка, потрібну людині. Тому з'ясування питання кількості й збалансованості незамінних амінокислот є важливим для встановлення відносної якості (утилізації) білків раціону. З відкриттям останньої з незамінних амінокислот — треоніну наприкінці 30-х років минулого століття з'явилася можливість створювати дієти із заміною білкової складової на очищені амінокислоти. А це, у свою чергу, зробило можливим встановлення рекомендованих рівнів споживання окремих амінокислот. Вже перші дослідження показали, що амінокислотні потреби людей суттєві різняться з віком і статтю. Також було доведено факт певного варіювання частки харчового білка, який повинен бути наявним у раціоні у вигляді незамінних амінокислот. Це поставило додаткове питання щодо ролі співвідношення незамінних та замінних амінокислот, а також частки незамінних амінокислоту у загальній кількості білка. Оскільки критерієм адекватності споживання амінокислот зазвичай є позитивний азотистий баланс, більшість дослідників пов'язують верхні величини потреби в амінокислотах з верхньою межею індивідуальних білкових потреб.

Для узагальнення наявних на той час наукових даних у 1957 році під егідою ФАО була скликана перша нарада групи експертів, що займалася виключно питаннями білкових потреб людей різного віку, статі та фізичної активності. Було підтверджено, що врахування лише загальної кількості спожитого білка є недостатнім для оцінювання збалансованості харчових раціонів, оскільки необхідно брати до уваги також біологічну цінність білка та ступінь його засвоєння (утилізації). З врахуванням наявної наукової інформації про амінокислотний склад білків різних продуктів та встановлених дослідниками фізіологічних потреб в амінокислотах різних груп споживачів було розглянуто три моделі білка, що могли б бути прийняті за еталон — жіноче грудне молоко, коров'яче молоко та яйце.



Для оцінювання якості білка було запропоновано показник білкового коефіцієнта — міру забезпечення потреб організму в лімітуючій (обмежувальній, найдефіцитнішій) амінокислоті порівняно з еталонним білком. Тобто рекомендувалося знаходити відношення кожної з 8 незамінних амінокислот до відповідної у еталонному білку і виявляти серед них найменше (див. 2.3.6).

Враховуючи думку більшості експертів, що жоден з розглянутих природніх білків не може претендувати на роль еталонного, в результаті обговорення було запропоновано першу модель гіпотетичного еталонного білка (табл. 8).

Таблиця 8 — Формула еталонного білка ФАО 1957 року

Амінокислота	Вміст в модельному білку, мг/1 г білка
Валін	42
Ізолейцин	42
Лейцин	48
Лізин	42
Метионін+цистин	42
Треонін	28
Триптофан	14
Фенілаланін+тирозин	56

Джерело: звіт ФАО (1958)

3.2 Формування методології використання еталонного білка

Наступні збори експертної групи ФАО/ВООЗ, присвячені білковим потребам людини, відбулися у 1963 році. Присутні на зборах фахівці погодилися з висновками попередньої комісії щодо необхідності враховувати не лише кількість білка, але і його якість. Також вони підтримали принцип використання еталонного співвідношення незамінних амінокислот (НАк) як основи для коригування незбалансованих раціонів харчування. Однак отримані за час від попередніх зборів наукові дані показали, що у випадках, коли людина споживає достатню кількість білка, загальна структура доступних амінокислот є важливішою для визначення його якості, ніж просто абсолютна кількість кожної з НАк. Суттєва розбалансованість у кількості амінокислот може мати негативний вплив на харчування, навіть якщо кількість НАк є достатньою. Тому експерти зробили висновок, що акцент на абсолютних потребах в окремих амінокислотах може бути



хибним шляхом, а таблиці потреб в амінокислотах мають цінність лише як допоміжний засіб. Адже за певних умов саме кількість замінного азоту в раціоні може стати обмежувальним фактором. Тож після визначення необхідного співвідношення НАк експерти рекомендували також вказувати частку загального споживання азоту, яку формують ці амінокислоти. Ця пропорція (співвідношення НАк і загальної кількості білка), може бути виражена у міліграмах маси суми НАк на 1 грам загального азоту або умовного протеїну. Також для деяких випадків доцільно використовувати співвідношення НАк і ЗАк, виражене або в міліграмах, або в мікромольях.

Виходячи з вказаних фактів, експерти поставили за мету переглянути схему еталонного складу білка, а також оцінити її за пропонованими показниками. Насамперед вони відмовилися від пропозиції попередньої комісії щодо вираження еталонного складу білка як частки кожної амінокислоти стосовно триптофану, прийнятого за одиницю. Адже на той час вже було встановлено, що він бере участь і у інших фізіологічних процесах, окрім синтезу білка. Подібна ситуація могла виникнути і з прийняттям у якості амінокислот порівняння треоніну чи лізину. Сама ідея використання еталонної амінокислоти мала два основних недоліки: необхідність обґрунтованого вибору такої еталонної амінокислоти і доведений факт, що в білках з дуже різною поживною цінністю співвідношення їх незамінних амінокислот до амінокислоти, обраної в якості еталонної, може бути майже однаковим. Для прикладу наводилося подібне порівняння для білків курячого яйця та арахісу (табл. 9)

Таблиця 9 — Амінокислотні структури білків курячого яйця і арахісу

Амінокислоти	Вміст амінокислоти, г на 16 г загального азоту		Структура амінокислот (триптофан = 1)	
	Куряче яйце	Арахіс	Куряче яйце	Арахіс
Лізин	6,6	3,6	3,9	4,0
Сірковмісні амінокислоти	5,4	2,7	3,2	3,0
Треонін	5,0	2,7	3,0	3,0
Триптофан	1,7	0,9	1,0	1,0

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ (1963)



Тому експерти підтримали ідею характеризувати склад еталонного білка через співвідношення НАк та загальної кількості білка (азоту), або у відношенні до кількості ЗАк. Узагальнюючи результати отриманих наукових даних, було встановлено, що попередня формула еталонного білка за показником НАК/ЗБ знаходиться на рівні, значно нижчому, ніж у більшості харчових білків, особливо тваринного походження. Також було показано, що запропонована еталонна формула не для всіх білоквмісних продуктів дає значення, співставне з результатами медико-біологічних досліджень (табл. 10). Тож як переважний варіант було запропоновано розглядати співвідношення кожної НАк до загальної кількості НАк (в міліграмах НАк на грам загальної кількості НАк або в грамах азоту конкретної амінокислоти на грам азоту всіх НАк). В ідеалі, для повної характеристики білка експерти рекомендують наводити як співвідношення $\text{НАк}/\sum\text{НАк}$, так і співвідношення НАК/ЗБ.

Стосовно власне абсолютних значень вмісту окремих амінокислот, запропонованих попередньою комісією, експерти також проаналізували їх з точки зору порівняння з класичними повноцінними білками — коров'ячим та грудним молоком і курячим яйцем (табл. 11).

В результаті обговорення експерти прийшла до висновку, що для довідкових цілей як еталонний білок доцільніше прийняти співвідношення НАк не попереднього еталону, а яєць або грудного молока. При цьому перевагу слід віддати білку цільного курячого яйця, який містить 3215 мг НАк на грам азоту, з них:

- ✓ метіоніну і цистину — 346 мг або 10,8 %
- ✓ лізину — 403 мг або 12,4 %
- ✓ триптофану — 100 мг або 3,1 %

У цьому випадку оцінювання якості білкової складової може проводитися за схемою:

- 1) знайти суму всіх НАк з врахуванням цистину та тирозину;
- 2) обчислити відсотковий внесок потенційно лімітуючих амінокислот до знайденої суми;



Таблиця 10 — Порівняння АКІ білків на основі різних еталонів і NPU

Продукт	На основі схеми незамінних амінокислот			NPU
	Еталон 1957 р.	Жіноче грудне молоко	Куряче яйце	
Молоко коров'яче	80	75	60	75
Яйце	100	90	100	100
Казеїн	80	75	60	72
Ячний альбумін	100	80	90	83
Яловичий м'яз	80	80	80	80
Яловиче серце	80	80	70	67
Яловича печінка	85	85	70	65
Яловича нирка	80	85	70	77
Свиняча вирізка	85	90	80	84
Риба	70	70	75	83
Овес	80	70	70	—
Жито	80	90	90	—
Рис	70	75	75	57
Кукурудзяна мука	40	40	45	55
Пшоно	70	60	60	56
Пшеничне борошно	50	50	50	52
Пшеничний зародок	60	70	65	67
Пшенична клейковина	40	40	40	37
Арахісове борошно	60	80	70	48
Соєве борошно	70	85	70	56
Кунжутне насіння	60	50	50	56
Насіння соняшнику	70	70	70	65
Бавовняний шрот	70	95	80	66
Картопля	60	85	70	71
Горох	60	70	60	44

Джерело: звіт FAO/WHO (1963)

Таблиця 11 — Порівняння амінокислотного складу еталонного та природних повноцінних білків

Амінокислота	Міліграм амінокислоти на 1 грам білка			
	Еталон 1957 р.	Коров'яче молоко	Жіноче грудне молоко	Куряче яйце
Валін	42	69	66	73
Ізолейцин	42	64	64	66
Лейцин	48	99	89	88
Лізин	42	78	63	64
Метіонін + цистин	42	33	43	55
Треонін	28	46	46	51
Триптофан	14	14	16	16
Фенілаланін + тирозин	56	100	101	100
Всього незамінних амінокислот	314	503	488	513

Джерело: звіт FAO/WHO (1963)



3) порівняти ці відсотки з відповідними значеннями для еталонного зразка.

Для прикладу, соєве борошно містить 2580 мг загальної кількості НАк на 1 г азоту, з яких:

- ✓ метіоніну і цистину — 197 мг або 7,6 %
- ✓ лізину — 395 мг або 15,3 %
- ✓ триптофану — 86 мг або 3,3 %

Беручи по чергово кожне з них, встановлюємо показник якості білка для соєвого борошна:

- на основі метіоніну та цистину (сірковмісні Ак): $7,6/10,8 = 70 \%$
- на основі лізину $15,3/12,4 = > 100 \%$
- на основі триптофану $3,3/3,1 = > 100 \%$

Для звичайних харчових продуктів і змішаних дієт допускається враховувати лише ці НАк, але будь-яку іншу обмежувальну амінокислоту можна оцінити таким же чином.

Водночас експертна група акцентувала увагу на тому, що використання структури НАк цільного курячого яйця не означає прийняття яєчного білка як еталонного. Також експерти підкреслили, що потрібно провести подальші дослідження щодо komponування оптимального складу і співвідношення НАк для різних фізіологічних і патологічних станів людини, встановлення для них мінімального співвідношення НАк/ЗБ. Додатково було звернено увагу на отримані наукові дані щодо взаємодії різних амінокислот:

- ✓ додавання однієї амінокислоти або їх суміші може не лише підвищувати, але й знижувати використання харчового білка;
- ✓ незначне збільшення вмісту певних амінокислот може збільшити потребу в інших;
- ✓ структурно пов'язані амінокислоти можуть взаємно впливати на їх утилізацію (лейцин – ізолейцин, лізин – аргінін);
- ✓ надлишкова кількість амінокислот може мати токсичну дію (метионін, тирозин, гістидин);



✓ дефіцит певних вітамінів та мінералів може змінювати потреби в амінокислотах (наявність в організмі дефіциту ніацину може призвести до використання триптофану для його синтезу, навіть якщо кількість триптофану не є надлишковою);

✓ певні замінні амінокислоти в організмі більш придатні для синтезу незамінних амінокислот, тому наявність і співвідношення замінних амінокислот може впливати на швидкість утворення незамінних;

✓ якщо частка незамінних амінокислот в структурі білка завелика, вони будуть малоефективно використовуватися як джерело азоту.

Однак експерти зауважили, що відчутними ці ефекти стають лише за умови споживання критично низьких рівнів білка, в інших же випадках запропоновано використовувати розроблену модель еталонного білка на основі курячого яйця з додатковим врахуванням співвідношення НАк/ЗБ.

Оскільки члени і першої, і другої експертних груп підкреслювали умовність своїх рекомендацій та необхідність їх подальшого уточнення, у 1971 році було скликано Спеціальний об'єднаний комітет експертів ФАО/ВООЗ з енергетичних та білкових потреб людини. Віддавши данину шани роботі своїх попередників, водночас вони відзначили, що наведені в попередніх рекомендаціях дані потребують суттєвих уточнень. Це стосувалося як методик оцінювання білоквмісних продуктів, так і складу самого еталонного білка. Більшість експертів погодилися, що амінокислотні потреби дітей і дорослих близькі до відносних концентрацій амінокислот в яєчному й молочному білках (табл. 12). Однак жоден із цих продуктів цілковито не відповідає вимогам до еталонного білка, тому слід провести додаткову роботу щодо напрацювання механізмів встановлення біологічної цінності білків і амінокислотних потреб споживачів різного віку. До того ж, якщо за еталонний білок прийняти якийсь із природних білків, необхідно буде точно визначити його амінокислотний склад, оскільки дані щодо цього у різних дослідників суттєво відрізняються. Зважаючи на це, присутні на зборах фахівці не побачили особливих переваг в тому, щоб прийняти за еталонний білок якийсь із



природніх білків або гіпотетичний білок, запропонований групою експертів 1957-го року.

Таблиця 12 — Амінокислотні потреби споживачів різних груп та склад еталонних білків (мг на 1 г білка)

Амінокислота	Потреби споживачів			Модел- льний білок	Склад білків-еталонів		
	немо- влята	шко- лярі	доро- слі		Грудне молоко	Коров'яче молоко	Яйце
Валін	47	41	18	42	55	64	66
Гістидин	14	—	—	—	26	27	22
Ізолейцин	35	37	18	42	46	47	54
Лейцин	80	56	25	48	93	95	86
Лізин	52	75	22	42	66	78	70
Метионін+цистин	29	34	24	42	42	33	57
Треонін	44	44	13	28	43	44	47
Триптофан	8,5	4,6	6,5	14	17	14	17
Фенілаланін+тирозин	63	34	25	56	72	102	93
Разом	373	326	152	314	460	504	512

Джерело: звіт FAO/WHO (1971)

Додатково було констатовано, що потреба дорослих споживачів у загальній кількості НАк, порівняно з дітьми, знижується суттєвіше, ніж потреба в білку. Тобто частка НАк у загальній їх кількості з віком має тенденцію до зниження, але ні коефіцієнт цього співвідношення, ні динаміка зниження все ще не були встановлені остаточно. Однак це давало підставу для обґрунтованого припущення щодо необхідності розробити декілька шкал еталонного білка, оскільки оцінювання білка, наприклад, на основі амінокислотних потреб і співвідношення НАк/ЗБ дітей молодшого шкільного і шкільного віку може давати занижені показники ефективності даного білка щодо задоволення білкових потреб організму дорослих. Основою для такого твердження був відомий на той час факт, що білки зернових утилізувалися дорослими дещо краще, ніж можна було очікувати, виходячи з їх амінокислотного складу. Тому в підсумковій резолюції комітету пропонувалося відмовитися від використання коефіцієнта НАк/ЗБ — адже цей спосіб оцінювання якості білка потребував досить складного і тривалого процесу визначення вмісту всіх незамінних амінокислот ще до початку обчислення цього показника для кожної з них. Також наголошувалося на потребі продовжити



дослідження щодо встановлення амінокислотних потреб людини залежно від віку споживачів.

Стосовно підходів до складання схеми еталонного білка — думки експертів цієї комісії розділилися. Більшість пропонувала вираховувати потребу організму людини в амінокислотах як частку від безпечного рівня споживання білка. Водночас меншість пропонувала використовувати результати визначення чистої утилізації білка (NPU). Дані, отримані цими методами, суттєво відрізнялися (особливо щодо рівня метіонін+цистин). З врахуванням думки більшості, визнаючи недостатність статистичних даних та обмеженість інформації щодо співвідношення амінокислот, які хімічно визначаються і біологічно засвоюються, експертами було запропоновано формулу еталонного білка, наведену у табл. 13. За основу було взято узагальнені амінокислотні потреби дітей дошкільного віку.

Таблиця 13 — Формула еталонного білка ФАО/ВООЗ (1971 р.)

Амінокислота	Пропонований вміст амінокислоти	
	мг/1 г білка	мг/1 азоту
Валін	50	310
Ізолейцин	40	250
Лейцин	70	440
Лізин	55	340
Метионін+цистин	35	220
Треонін	40	250
Триптофан	10	60
Фенілаланін+тирозин	60	380

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ (1971)

Прим. Слід зазначити, що саме ця формула еталонного білка найчастіше зустрічається у вітчизняній фаховій літературі. Це можна пояснити двома чинниками:

- ✓ починаючи з цього засідання, у наступних звітах подібна формула еталонного білка не наводилася у вигляді окремої таблиці, а лише рекомендувалася у тексті підсумкових рішень;
- ✓ рішення усіх консультативних зборів ФАО/ВООЗ, починаючи з 1991 року, видавалися лише англійською мовою, що ускладнило ознайомлення з їх пропозиціями широкого загалу зацікавлених науковців.

Кількість і співвідношення амінокислот було прийнято з врахуванням їх вмісту у білках молочних і зернових продуктів, водночас проведено коригування



з врахуванням досвіду використання стандартних зразків білка попередніх років. Зокрема — зменшено рівень триптофану і метіоніну, а також підвищено кількість треоніну і лізину (оскільки вже було відомо, що лізин, хоча й може бути наявним у продуктах в значних кількостях, але не весь біологічно доступний).

Коефіцієнт НАк/ЗБ для даного білка (360 мг НАк на 1 г білка чи 2,25 г НАк на 1 г азоту) близький до показника для дітей молодшої вікової групи і дещо завищений, як для старшої дітей і дорослих. Також він дещо перевищує за цим показником попередні еталонні білки. Але комітет вважав, що деяке перевищення цього показника для дорослих не є критичним і саме цей зразок може бути прийнятий за базовий. Водночас наголошувалося, що для харчування немовлят найкращою їжею є грудне молоко, тож амінокислотні потреби немовлят не слід включати у подальші розрахункові норми складу білка або необхідно проводити обов'язкове їх коригування з включення амінокислоти гістидину.

Підтверджуючи ідею, що найменше число для певної НАк відображатиме можливу ефективність утилізації досліджуваного білка чи суміші білків і дасть змогу робити поправку на якість білкового харчування, було запропоновано повернутися до ідеї оцінювання якості білка за показником амінокислотного коефіцієнта. Однак для зручності представлення виражати його не в частках відношення кожної з амінокислот до відповідної у еталонному білку, а у відсотках (процентах адекватності) як амінокислотний індекс (АкІ).

Також зазначалося, що хоча для певних білків АкІ може перевищувати 100, це не має стати визначальним фактором оцінювання ступеня забезпеченості білкових потреб організму. Для цього потрібно рекомендований безпечний рівень споживання білка помножити на 100 і поділити на АкІ. Зважаючи на те, що для більшості харчових продуктів і раціонів обмежувальними будуть лізин, сірковмісні амінокислоти (метионін+цистин) і триптофан, допускалося розраховувати АкІ лише для цих трьох амінокислот. Водночас експерти наголошували на необхідності чітко розмежовувати якість білка, зумовлену його амінокислотним складом, та біологічну доступність (ефективність утилізації), на яку впливають



значно більше факторів, таких як кількість і якість білка в раціоні, вік і фізичний стан споживача, умови його перебування.

Члени Комітету зазначили, що майже двократне перевищення вмісту амінокислот у пропонованому зразку відносно потреб дорослих людей не є критичним і підкреслили орієнтовний характер цього еталону, вказавши на необхідність його коригування в міру накопичення нових експериментально-статистичних даних.

3.3 Сучасні редакції формули еталонного білка

У 1981 році відбулися наступні консультативні збори об'єднаної групи експертів FAO, WHO та UOON (Університету ООН) щодо потреб організму людини в енергії та білку. Оскільки за десять років, що минули від попереднього засідання, було зібрано додаткову інформацію як щодо кількості амінокислот у різних харчових продуктах і раціонах, так і щодо ступеню утилізації білка, було переглянуто й уточнено величини амінокислотних потреб для різних вікових груп (табл. 14).

Таблиця 14 — Порівняння потреб в амінокислотах споживачів різних вікових груп з амінокислотним складом білків тваринного походження

Амінокислота	Зразок потреби в АК, мг/1 г білка				Склад білків порівняння		
	немовлята (білок грудного молока)	дошкільнята	школярі	дорослі	яйце	коров'яче молоко	яловичина
Валін	55	35	25	13	66	64	50
Гістидин	26	19	19	16	22	27	34
Ізолейцин	46	28	28	13	54	47	48
Лейцин	93	66	44	19	86	95	81
Лізин	66	58	44	16	70	78	89
Метионін+цистин	42	25	22	17	57	33	40
Треонін	43	34	28	9	47	44	46
Триптофан	17	11	9	5	17	14	12
Фенілаланін+тирозин	72	63	22	19	93	102	80
Разом	460	339	241	127	512	504	479

Прим. Для дітей віком від 1 до 2 років норма потреби в амінокислотах може бути прийнята як проміжна між немовлятами і дошкільнятами.

Джерело: звіт FAO/WHO/UOON (1981)



Дещо знижені, порівняно з попередніми рекомендаціями, рівні амінокислот зумовлені насамперед тим, що на цій нараді було підвищено рівні безпечного споживання білка: для дорослих — на рівні 0,75 г/кг маси тіла, для дітей 10...12 років — 0,99 г/кг, 2...5 років — 1,10 г/кг. Відповідно, кількість незамінних амінокислот на 1 г білка знизилася. **Вперше** у таблицю для всіх вікових груп було додатково внесено дані по **гістидину**, який до цього вважався обмежувальною амінокислотою лише для немовлят.

Як і у рішеннях попередніх зборів, для полегшення розрахунків біологічної повноцінності білка пропонувалося обчислювати Акі лише для лізину, сірковмісних амінокислот (метионін+цистин), триптофану і, додатково, треоніну. Водночас експерти підкреслили необхідність поряд з визначенням Акі кожного білка враховувати оцінку його засвоюваності (особливо стосовно рослинних продуктів та змішаних раціонів).

Зважаючи на встановлену суттєву відмінність в амінокислотних потребах різних категорій споживачів, члени експертних зборів не вважали за потрібне визначати склад єдиного еталонного білка, пропонуючи використовувати для розрахунку Акі нормативне значення відповідної вікової групи (табл. 15)

Таблиця 15 — Рекомендований вміст амінокислот у білку залежно від віку цільового споживача (1981 р.)

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка			
	немовлята	дошкільнята	школярі	дорослі
Валін	55	35	25	13
Гістидин	26	19	19	16
Ізолейцин	46	28	28	13
Лейцин	93	66	44	19
Лізин	66	58	44	16
Метионін+цистин	42	25	22	17
Треонін	43	34	28	9
Триптофан	17	11	9	5
Фенілаланін+тирозин	72	63	22	19

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ/УООН (1981)

Паралельно роботі згаданих консультативних зборів ФАО/ВООЗ у 1980 році почав працювати Комітет з рослинних білків під егідою Комісії Codex



Alimentarius. Провівши декілька засідань (1983, 1984, 1987, 1989 pp.), учасники цього Комітету прийняли рішення, в якому найкращим способом оцінювання якості білка визнали визначення його Акі з внесенням поправки на ступінь засвоюваності білка чи біодоступність амінокислот. З цією метою було розроблено теоретичне обґрунтування і запропоновано принцип оцінювання якості білка за методикою PDCAAS (див. п. 4.1). Також на підсумковому засіданні у 1989 році члени Комітету схвалили шкали амінокислотних потреб, затверджені експертами ФАО/ВООЗ/УООН в 1981 році, однак зазначили, що доцільніше було б прийняти якісь єдині значення формули еталонного білка — взявши за основу, наприклад, потреби дітей дошкільного віку (2...5 років). Зважаючи на відсутність відповідних повноважень, Комітет запропонував провести чергову нараду об'єднаної групи експертів ФАО/ВООЗ, аби внести необхідні зміни.

Беручи до уваги пропозиції Комітету з рослинних білків, наприкінці 1989 року було проведено Консультативні збори експертів ФАО/ВООЗ з питання принципів і способів оцінювання якості білка. Учасники зборів розглянули міркування та пропозиції попередніх зборів і згаданого Комітету Codex Alimentarius щодо методів встановлення біологічної цінності білка. Вони визнали, що класичний метод оцінювання білкової складової харчування за допомогою лабораторних досліджень на щурах може надавати недостовірні дані щодо задоволення фізіологічних потреб людини, у той же час проведення масштабних досліджень на людях є недоцільним як з етичної, так і з економічної точки зору. Тому експерти визнали метод PDCAAS (визначення Акі білка з урахуванням його засвоюваності та/або біодоступності амінокислот) за найперспективніший для характеристики білкової складової раціонів харчування. Беручи до уваги оновлені результати наукових досліджень і звертаючи увагу на те, що норми амінокислот для дітей задовольняють потреби дорослих, але не навпаки, було прийнято рішення рекомендувати в якості складу еталонного білка амінокислотні потреби дітей дошкільного віку, запропоновані Об'єднаними консультативними зборами експертів ФАО/ВООЗ/УООН у 1981 р. (табл. 16). При цьому експерти погоджувалися, що такий підхід зумовить недооцінювання певних білків для задоволення



фізіологічних потреб дорослої людини, адже на той час вже було встановлено, що дітям шкільного віку потрібно близько 30 % білка у формі НАк, тоді як дорослій людині достатньо лише 15 %. Вони аргументували це тим, що саме молодші вікові групи є критичними щодо якості білка у раціоні, а прийняття їхніх норм за еталонні дасть додатковий резерв в оцінюванні білкової складової раціонів старших за віком споживачів. Водночас для немовлят основою моделі для оцінювання якості білка має залишатися амінокислотний склад жіночого грудного молока.

Таблиця 16 — Формула еталонного білка ФАО/ВООЗ (1989 р.)

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка
Валін	35
Гістидин	19
Ізолейцин	28
Лейцин	66
Лізин	58
Метионін+цистин	25
Треонін	34
Триптофан	11
Фенілаланін+тирозин	63

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ (1991)

Також експертною групою запропоновано в подальшому наводити дані про амінокислотний склад білків, використовуючи лише розмірності мг амінокислоти на 1 г азоту або конвертувати в мг амінокислоти на 1 г білка за допомогою коефіцієнта 6,25. Додатково наголошувалося на необхідності обов'язково множити отримане число на коефіцієнт засвоюваності відповідного білка. Водночас експерти визнавали, що ефективно використання цього методу неможливе без наявності надійних даних про амінокислотний склад продуктів і раціонів, отриманих за сучасними методиками. Адже дані міжнародних таблиць застаріли (1970 р.) і мають суттєві розбіжності з національними даними (особливо щодо цистину, метионіну і триптофану). Тому експертами було запропоновано опис і специфікації нових методів визначення амінокислот і акцентовано увагу на необхідності щонайшвидшого укладання осучаснених таблиць хімічного складу.



Наступні консультативні збори експертів ФАО/ВООЗ/УООН стосовно білкових та амінокислотних норм в харчуванні людини відбулися у 2002 році. Зазначивши, що наукові знання та експериментальні дослідження (в першу чергу — широке використання ізотопного методу) зумовили значний поступ у розвитку науки про харчування, члени комісії запропонували значно збільшити нормативну кількість амінокислот в білку для дорослого населення. Насамперед це пояснювалося тим, що усі попередні експертні групи брали до уваги дані лише «ідеальних» чоловіка і жінки без врахування впливу можливих інфекційних захворювань, нервового та фізичного навантаження. Також було підтверджено рішення попередніх зборів щодо віднесення до групи незамінних для дорослого населення амінокислоти гістидину, зважаючи на встановлені факти погіршення показників концентрації гемоглобіну в результаті харчування раціонами без цієї амінокислоти. При цьому наголошувалося на необхідності враховувати, що ефективно використання засвоюваного харчового білка вимагає відповідного балансу між НАк, ЗАк та іншими азотовмісними сполуками. Зокрема, ефективна утилізація спожитих НАк на нижній межі діапазону їхньої потреби може відбуватися лише за умови надходження достатньої кількості ЗАк або замінного азоту. Водночас, споживання НАк у кількостях, що перевищують їхню потребу, викликає підвищену потребу в ЗАк для їхньої детоксикації і, таким чином, збільшуватиме загальну потребу в харчовому азоті. Тому потребує подальших досліджень питання встановлення оптимального співвідношення вмісту загального азоту, ЗАк і НАк як потенційно важливого фактора, що впливає на ступінь задоволення харчовими білками фізіологічних потреб споживача.

Визнаючи складність процесу оцінювання якості білка, експерти все ж запропонували значення орієнтовного вмісту незамінних амінокислот в білку для різних вікових груп (табл. 17), рекомендуючи розраховувати їх як результат ділення норми відповідної амінокислоти на встановлену норму безпечного споживання білка (для дорослих — 0,66 г/кг маси тіла на добу).



Таблиця 17 — Рекомендований вміст амінокислот у білку залежно від віку споживача (2002 р.)

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка					
	немовлята	1...2 роки	3...10	11...14	15...18	понад 18
Валін	43	42	40	40	40	39
Гістидин	20	18	16	16	16	15
Ізолейцин	32	31	31	30	30	30
Лейцин	66	63	61	60	60	59
Лізин	57	52	48	48	47	45
Метионін+цистин	28	26	24	23	23	22
Треонін	31	27	25	25	24	23
Триптофан	8,5	7,4	6,6	6,5	6,3	6,0
Фенілаланін+тирозин	52	46	41	41	40	38

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ/УООН (2007)

Для полегшення розрахунків експерти допускали для всіх груп споживачів віком від 2 років використовувати єдину формулу еталонного білка, прийнявши за основу амінокислотні потреби дітей віком 3...10 років (табл. 18).

Таблиця 18 — Формула еталонного білка ФАО/ВООЗ/УООН (2002 р.)

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка
Валін	40
Гістидин	16
Ізолейцин	31
Лейцин	61
Лізин	48
Метионін+цистин	24
Треонін	25
Триптофан	6,6
Фенілаланін+тирозин	41

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ/УООН (2007)

У квітні 2011 року було скликано чергові Консультативні збори експертів ФАО, присвячені темі оцінювання якості білка в харчуванні людини. Зважаючи на зростання кількості населення планети та обмеженість продовольчих ресурсів, одним з основних завдань цих зборів було визначено якомога точніше з'ясувати кількісні та якісні характеристики білка, необхідні для задоволення життєвих потреб людини.



Насамперед група наголосила, що в світлі останніх медико-біологічних досліджень харчові амінокислоти слід розглядати як окремі поживні речовини, які можуть мати різну біодоступність (засвоюваність). Водночас, зважаючи на накопичені до того часу дані щодо особливостей використання методу PDCAAS для оцінювання білкової складової продуктів і раціонів було рекомендовано новий показник якості білка — DIAAS (див. п. 4.2) та описано принцип його використання. Також експертами запропоновано нові амінокислотні структури еталонного білка (табл. 19), які мають використовуватися для розрахунку DIAAS, залежно від віку:

- ✓ немовлята (від народження до 6 місяців) — структура грудного молока;
- ✓ маленькі діти (від 6 місяців до 3 років) — шаблон для немовлят з рекомендацій попередніх зборів 2002 року;
- ✓ діти старшого віку, підлітки та дорослі — шаблон для дітей віком від 3 до 10 років.

Однак при цьому експертами наголошувалося, що в чисельник формули розрахунку АКІ слід підставляти не хімічно визначену в певному харчовому продукті чи раціоні кількість амінокислоти, а кількість її біологічно засвоюваної форми. Оскільки необхідний масив подібних даних ще відсутній, експерти акцентували увагу міжнародних організацій і наукових спільнот на необхідності щонайскорішого початку роботи в цьому напрямку з залученням фахівців різних країн.

Таблиця 19 — Формула еталонного білка згідно рекомендацій ФАО 2011 р.

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка		
	немовлята	діти	дорослі
Валін	55	43	40
Гістидин	21	20	16
Ізолейцин	55	32	30
Лейцин	96	66	61
Лізин	69	57	48
Метионін+цистин	33	27	23
Треонін	44	31	25
Триптофан	17	8,5	6,6
Фенілаланін+тирозин	94	52	41

Джерело: звіт ФАО (2013)



CHAPTER 4 / РОЗДІЛ 4

MODERN CALCULATION METHODS OF ASSESSING THE PROTEIN COMPONENT OF FOOD PRODUCTS AND DIETS

СУЧАСНІ РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ БІЛКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І РАЦІОНІВ

4.1 Методика PDCAAS, що враховує засвоюваність білка

Обчислення показника PDCAAS (*англ.* protein digestibility corrected amino acid score — *укр.* амінокислотний індекс білка з урахуванням його засвоюваності) як способу оцінювання білкової складової харчових продуктів і раціонів вперше був запропоновано як міжнародно визнану методику групою експертів ФАО/ВООЗ у 1989 році. Оскільки метод базувався на потребах в амінокислотах саме організму людини, він за своєю суттю є ефективнішим для прогнозування якості білка, ніж аналізи на тваринах. До того ж існували переконливі докази щодо схожості здатності людей і щурів перетравлювати їжу, що давало можливість прийняти показник справжньої засвоюваності сирого протеїну (визначений методом КЕБ) як розумне наближення величини справжньої засвоюваності більшості амінокислот у дієтах, заснованих на джерела тваринного білка, злаках, олійних культурах, бобових або сумішах джерел білка. Тому було прийнято рішення, що внесення поправки на істинну засвоюваність білка буде достатньо для отримання близьких до клінічних результатів, і вносити окремі поправки для кожної амінокислоти немає потреби.

На підсумковому засіданні експерти згаданих зборів ФАО/ВООЗ рекомендували прийняти цю процедуру як найкращий метод вимірювання значень білка щодо харчування людини і почати масштабну роботу щодо створення бази даних засвоюваності окремих харчових продуктів та раціонів, використовуючи як уже відомі дані, так і проводячи додаткові дослідження на лабораторних щурах для отримання необхідної інформації. Накопичені з того часу результати лабораторних досліджень як на щурах, так і на людях дали можливість підтвердити більшість вже визначених величин засвоюваності, а також доповнити їх новими даними (табл. 20). Тож для використання в поточному оцінюванні якості білка харчових продуктів встановлені значення засвоюваності білка для чітко



визначених харчових продуктів можна взяти з опублікованої бази даних, за умови дотримання всіх критеріїв безпеки та токсикологічних критеріїв. Додаткове визначення засвоюваності необхідно проводити лише для нових продуктів або процесів.

Таблиця 20 — Значення засвоюваності білка деяких харчових продуктів і раціонів

Джерело білка	Засвоюваність, %	Концентрат горохового білка	92
		Насіння бавовнику	90
		Соняшникове борошно	90
		Тритикале	90
Яечний білок	100	Рис полірований	88
Казеїн	99	Горох	88
Ізолят соєвого білка	98	Горохове борошно	88
Яловичина	98	Кукурудза	87
Яйце	97	Пшениця	86
Пшенична клейковина	96	Вівсяні пластівці	86
Пшеничне борошно	96	Соєве борошно	86
Молоко, сир	95	Пшоно	79
Арахісове масло	95	Квасоля	78
Концентрат соєвого білка	95	Кукурудза + квасоля	78
Концентрат рапсового білка	95	Кукурудза + квасоля + молоко	84
М'ясо, риба	94	Пшениця, крупи	77
Арахіс	94	Овес, крупи	72
Ізолят соняшникового білка	94	Рис, крупа	75
Арахісове борошно	94		

Джерело: звіт FAO/WHO (1991)

Порядок визначення показника PDCAAS

Щоб розрахувати індекс білка з урахуванням його засвоюваності, досліджувану їжу необхідно проаналізувати на приблизний хімічний та амінокислотний склади, а значення засвоюваності білка взяти з наявної бази даних або визначити методом балансу зростання щурів (КЕБ).

✓ хімічний склад: величини загального азоту, вологи, жиру та загальної кількості харчових волокон слід визначати за стандартизованими методиками — наприклад, затвердженими чи рекомендованими АОАС (*англ.* Association of Official Analytical Communities). Кількість білка можна розрахувати за допомогою коефіцієнта перетворення азоту в білок — 6,25. Продукти з високим вмістом



вологи (наприклад, м'ясо) перед аналізом слід висушити, а продукти з високим вмістом жиру (наприклад, м'ясо, горіхи, незбиране сухе молоко тощо) можуть вимагати додаткової екстракції ліпідів.

✓ кількість амінокислот: гідролізати білків слід готувати та аналізувати згідно із загальноприйнятими методиками, у тому числі описаними у рекомендаціях ФАО/ВООЗ.

✓ оцінювання амінокислотного складу: співвідношення амінокислот (кількість незамінної амінокислоти в 1 г досліджуваного білка до кількості тієї ж амінокислоти в 1 г еталонного зразка) обчислюється для 9 незамінних амінокислот плюс тирозин і цистин. Оскільки на практиці харчові білки, ймовірно, будуть обмежені лише лізином (більшість зернових), сірковмісними амінокислотами (білки бобових), триптофаном (деякі зернові культури, такі як кукурудза) або треоніном (деякі зернові культури), для обчислення показника PDCAAS допускається використовувати лише шаблон, заснований на цих чотирьох амінокислотах. Найнижче співвідношення приймають за амінокислотний коефіцієнт даного білка.

✓ засвоюваність білка: справжню засвоюваність білка слід визначати за допомогою методу балансу росту щурів (КЕБ). Дані щодо вмісту жиру та загальної кількості харчових волокон у досліджуваній їжі слід використовувати для коригування складу тестової та безазотистої дієти (або дієти з низьким вмістом азоту) — вони мають бути близькими за рівнями загального вмісту жиру та (де можливо) клітковини. Целюлозу слід додавати до дієта лише у випадку, якщо загальний вміст харчових волокон у тестовій їжі становить менше 5 %. Раціони також повинні містити приблизно однакові кількості вологи та лактози (під час тестування продуктів з високим вмістом лактози, наприклад, сухого молока).

✓ показник PDCAAS обчислюють множенням найнижчого співвідношення амінокислот (амінокислотного коефіцієнта даного білка) на прийняте або встановлене значення засвоюваності білка. Одержана величина може бути виражена як десятковим дробом (частками одиниці), так і у відсотках. Оцінки амінокислот з поправкою на засвоюваність білка вище 1 (100 %) прирівнюються до 1 (100 %).



Приклад розрахунку показника PDCAAS для ізоляту соєвого білка наведено у табл. 21.

Таблиця 21 — Розрахунок показника PDCAAS для ізоляту соєвого білка

Амінокислота	Вміст амінокислоти, мг/г білка		АКК і лімітуюча амінокислота	Засвоюваність білка (див. табл. 20), %	Показник PDCAAS, %
	ІСБ	Еталонний білок ФАО 2011 р.			
Валін	49	40	1,23	98	0,91·98 = 89
Гістидин	35	16	2,19		
Ізолейцин	48	30	1,60		
Лейцин	78	61	1,28		
Лізин	65	48	1,35		
Метионін+цистин	21	23	0,91		
Треонін	44	25	1,76		
Триптофан	13	6,6	1,97		
Фенілаланін+тирозин	78	41	1,90		

Після наукового підтвердження і затвердження цієї методики було проведено значну роботу щодо встановлення значень показника PDCAAS різних продуктів та його узгодженості зі справжньою засвоюваністю білка й амінокислотним коефіцієнтом (табл. 22).

Таблиця 22 — Оцінювання амінокислотного складу продуктів з урахуванням засвоюваності білка

Продукт	Протеїн (N·6,25)	Засвоюваність білка	АКК	PDCAAS
Яєчний білок	87,0	100	1,19	1,00
Казеїн	94,7	99	1,19	1,00
Соевий білок, концентрат	70,2	95	1,04	0,99
Ріпаковий білок, концентрат	68,3	95	0,98	0,93
Яловичина	95,2	98	0,94	0,92
Соевий білок, ізолят	92,2	98	0,94	0,92
Ріпаковий білок, ізолят	87,3	95	0,87	0,83
Гороховий білок, концентрат	57,0	92	0,79	0,73
Горохове борошно	30,8	88	0,79	0,69
Овес	18,4	91	0,63	0,57
Арахісове борошно	61,2	94	0,55	0,52
Пшениця, зерно	16,2	91	0,44	0,40
Соняшниковий білок, ізолят	92,7	94	0,39	0,37
Пшеничний білок	87,0	96	0,26	0,25

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ (1991)



Для визначення показника PDCAAS харчових сумішей в цілому рекомендовано дотримуватися вказаної процедури для окремих харчових продуктів, а якщо дані щодо амінокислотного складу та засвоюваності окремих компонентів суміші добре відомі й відрізняються лише пропорції, значення PDCAAS можна розрахувати як середнє арифметичне.

Оскільки метод PDCAAS забезпечував отримання значень біологічної цінності, дуже близьких до результатів клінічних досліджень (на основі вивчення азотного балансу), він був відразу прийнятий науковою спільнотою і довів свою значимість на практиці. Водночас накопичилися наукові дані щодо можливих обмежень і особливостей його застосування. Зокрема, критики методу PDCAAS зауважували, що він:

- ✓ не надає додаткової поживної цінності білкам високої якості;
- ✓ переоцінює якість білка продуктів, що містять антиаліментарні фактори;
- ✓ недостатньо враховує біодоступність амінокислот;
- ✓ переоцінює якість погано засвоюваних білків, доповнених лімітуючими амінокислотами, а також білків, які мають близькі за рівнем значення для декількох обмежувальних амінокислот.

За результатами розгляду вказаних зауважень наступними консультативними зборами експертів ФАО/ВООЗ року було сформульовано такі рекомендації:

1. Поки не будуть отримані дані щодо засвоюваних амінокислот у харчових продуктах, засвоюваність білка слід розглядати як хороше наближення біодоступності амінокислот у змішаних дієтах людини, заснованих на належним чином оброблених (які містять мінімальну кількість залишкових антихарчових факторів) продуктах. У таких випадках метод PDCAAS буде кращим методом для точного прогнозування якості білка.

2. Метод PDCAAS може бути непридатним для прогнозування якості протеїну харчових продуктів із єдиного джерела, таких як дитячі суміші та ентеральні харчові продукти, а також джерел білка, які містять високі рівні відомих антиаліментарних факторів, як природних, так і тих, що утворюються під час



оброблення (приготування їжі). Оскільки високі рівні речовин, які можуть порушити травлення або метаболізм, можуть також чинити несприятливий вплив на засвоюваність амінокислот і використання білка, використання методу PDCAAS призводитиме до переоцінювання якості білкової складової таких продуктів. Тому додатково для цієї методики існує потреба встановити безпечні верхні межі антиаліментарних факторів.

3. Метод обчислення PDCAAS малоприслатний для оцінювання якості білкової складової високоякісних білкових харчових інгредієнтів, оскільки він не підкреслює їх харчову цінність як можливої добавки до білків низької якості, адже класичний метод PDCAAS не передбачає значень понад 100 %.

Останнє зауваження викликало найбільше обговорення. Адже «скорочення» величини значення PDCAAS (тобто вираження його максимального значення не більше як 1 або 100 %) у випадках оцінювання високоякісних білкових продуктів з вмістом незамінних амінокислот вищим, ніж в еталонному білку, призводило до практичного урівнювання таких джерел білка. Таким чином усувалася будь-яка різниця між білками, наприклад, молока і сої, навіть незважаючи на відомі дані, що фактичні концентрації важливих незамінних амінокислот, які можуть бути обмеженнями в деяких дієтах, вищі в молоці, ніж у соєвому білку. Тож придатність молочного білка покращувати амінокислотний профіль суміші за рахунок явище компліментації (взаємодоповнення) амінокислот буде більшою, ніж сої. Вказати на цю характеристику можливо, лише допустивши надання окремим білкам значення PDCAAS більше одиниці або більше 100 %. Опоненти цього підходу аргументували свою точку зору тим, що значення PDCAAS має передбачати загальну ефективність використання білка з точки зору двох його характеристик — засвоюваності та біологічної цінності. Де біологічна цінність дорівнює утилізованому азоту, поділеному на засвоюваний азот, що є функцією оцінювання амінокислот. Принцип, що лежить в основі цього, полягає в тому, що використання будь-якого білка спочатку буде обмежено засвоюваністю, яка визначає загальний доступний азот амінокислот з їжі, а біологічна цінність описує здатність поглинутих амінокислот задовольняти



метаболічний попит. Біологічна цінність ніколи не може перевищувати 1, оскільки для будь-якої кількості поглиненого азоту найкраще, чого можна досягти, це те, що структура амінокислот точно відповідає потребам, так що всі амінокислоти використовуються. Насправді, в той час як оцінювання білкової складової проводиться лише за вмістом НАк (і, як правило, лише для тих кількох амінокислот, які обмежують якість білка на практиці), метаболічна потреба стосується як НАк, так і замінного азоту. Через це, коли будь-яка або всі НАк присутні в кількості, що перевищує потребу, засвоєна суміш є незбалансованою і обмежена ЗАк. Передбачається, що вони будуть отримані шляхом окислення надлишку НАк. Якщо таке перетворення НАк на ЗАк відбувається, то весь поглинутий азот буде утилізовано так само, як і в поглинутій суміші, яка точно відповідає потребі (еталонний зразок). Виходячи з цього, експерти роблять висновок, що не може бути ніякої користі від амінокислотного балансу >1 з теоретичною можливістю виникнення проблем, якщо взаємоперетворення буде неповним.

До того ж значення PDCAAS можуть бути використані для коригування харчового споживання білка відповідно до потреб. У цьому випадку для будь-якої дієти рекомендоване споживання буде розраховано як величина безпечного рівня споживання білка поділена на значення PDCAAS харчового продукту чи раціону. І використання значення PDCAAS > 1 означатиме, що для «білково-високоякісних» дієт скоригований рівень споживання білка буде меншим за безпечний.

Усі ці аргументи пропонувалося ретельно розглянути в контексті розрахунку показників амінокислот для PDCAAS > 1 як індексу якості харчових джерел білка. Аргумент для визначення індексу на основі неурізаних значень оцінки амінокислот базується на перевагах ідентифікації білків як багатих джерел НАк, які можна використовувати для доповнення інших джерел, які мають дефіцит незамінних амінокислот. Очевидно, оскільки дебати повністю зосереджені на амінокислотному складі, якщо такий підхід буде відстоюватися, це можна буде зробити лише по відношенню до оцінки амінокислот. У прикладах розрахунку показника PDCAAS, наведених у звіті 1991 року, існувала значна неузгодженість з



цього питання. Зокрема, скорочення не використовувалося для оцінювання амінокислот, але було застосовано до значення PDCAAS. Таким чином, для соєвого концентрату зі значеннями засвоюваності та оцінки амінокислот, відповідно, 95 % і 1,04, значення PDCAAS вказано як 0,99. Це б означало, що невеликий надлишок незамінних амінокислот може компенсувати втрату 5 % загального азоту під час травлення та всмоктування, що неправильно. Виходячи з припущення, що засвоюваність є першочерговим обмеженням, значення PDCAAS слід було б розраховувати на основі скороченого значення амінокислотної оцінки, вказуючи, що значення PDCAAS для соєвого концентрату становить 0,95, як і його засвоюваність.

Інша неузгодженість стосувалася обчислення показника PDCAAS для харчової білкової суміші, особливо якщо засвоюваність окремих компонентів різна. У цьому випадку АКК розраховується для раціону на основі загального профілю амінокислот харчової амінокислотної суміші без врахування оцінок білків-компонентів. Однак, виходячи з принципу, що перш за все обмеженням є засвоюваність, склад і амінокислотна оцінка поглинених доступних амінокислот відобразатиме відносну засвоюваність окремих компонентів харчового білка. Таким чином, кількість амінокислот для харчових сумішей слід розраховувати на основі середньозваженого вмісту засвоюваних амінокислот. У звіті 1991 року наведено приклад розрахунку значення PDCAAS для суміші пшениці, нуту та сухого молока, де показник було обчислено на основі усередненого вмісту амінокислот на грам харчового білка перед тим, як розраховується засвоюваність. Хоча помилка в результаті цього прорахунку невелика — це справедливо лише в цьому конкретному випадку. Адже якщо засвоюваність окремих харчових компонентів буде помітно відрізнятися, величина помилки може бути значною.

Ці проблемні питання та неузгодженості було розглянуто на чергових консультативних зборах експертів ФАО/ВООЗ/УООН у 2002 році. Було підтверджено, що встановлення величини показника PDCAAS є простим і науково обґрунтованим підходом для поточного оцінювання якості білкової складової харчових продуктів і раціонів. Його зручно використовувати як додатковий



коригувальний коефіцієнт у процедурах оцінювання, заснованих як на якості, так і на кількості протеїну — наприклад придатного для використання білка (кількість загального білка помножена на скоригований бал) і для заміни показника КЕБ для обчислення рейтингу білка (грам білка в добовій нормі споживання, помножений на значення КЕБ). Цей метод найдешевший з усіх відомих способів оцінювання якості білка харчових продуктів, особливо якщо використовувати уточнені довідкові дані щодо засвоюваності білка (табл. 23).

Таблиця 23 — Засвоюваність білка харчових продуктів, %

Продукт	Засвоюваність	Продукт	Засвоюваність
Казеїнат натрію	100	Сорго	83
Соєвий білок, ізолят	98	Кукурудзяне борошно	82
Сироватковий білок, концентрат	97	Кукурудза	81
Соєвий білок, концентрат	97	Овес (очищені зерна)	79
Молоко	96	Горох	78
Казеїн	95	Соняшнику насіння	78
Пшенична клейковина	95	Ячмінь	78
Меляса	94	Овес лущений	77
Казеїну гідролізат	92	Жито	75
Сироватковий порошок	91	Квасоля варена	74
Яйце варене	91	Льону насіння	74
Горохове борошно	90	Овес	74
Рис	90	Горох варений	72
Горох екструдований	89	Кукурудзяні висівки	72
Картопляний білок, ізолят	89	Пшеничні висівки	71
Молочний білок, концентрат	89	Соєві боби варені	68
Пшеничне борошно (клітковини < 3,5 %)	89	Білок одноклітинних	66
Сироватковий порошок	89	Кукурудзяні зародки (шрот)	66
Молоко сухе знежирене	88	Рисові висівки	65
Сироватка сирна	88	Картопля (дегідратована)	56
Пшениця	87	Картопля фрі	51
Ріпаковий білок, ізолят	87	Яйце сире	51
Картопляний білок, концентрат	85	Картопляні чіпси	47
Тритикале	84		
Пшеничне борошно (клітковини 3,5...5,5 %)	83		
Пшеничні зародки	83		

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ/УООН (2007)



Використання процедури PDCAAS може легко встановити обмежувальну амінокислоту в джерелі білка, на відміну від аналізів на тваринах, які вимагають кількох проб для ідентифікації фактичної лімітуючої амінокислоти.

Також було розглянуто особливості обчислення цього показника для сумішей кількох білковмісних продуктів. Адже на той час вже було достовірно встановлено, що традиційні комбінації рослинних білків, які споживаються в деяких країнах (наприклад, рис і бобові в Азії, пшениця і бобові на Близькому Сході, кукурудза і бобові в Америці тощо), мають необхідну якість білка, оскільки амінокислотний склад зернових і бобових культур доповнює один одного, утворюючи збалансовану суміш амінокислот. Тобто низьку якість білка в джерелі, наприклад, рослинного білка можна покращити шляхом додавання додаткового білка, білкової добавки або лімітуючої амінокислоти. Для прикладу в табл. 24 наведено дані, що демонструють комплементарні ефекти різних білків. Початкове значення PDCAAS пшеничного борошна на рівні 0,41 було покращено до 0,67...0,91 завдяки додаванню білкового концентрату насіння ріпаку, соєвого чи яєчного білка, горохового борошна, яловичини або казеїну. Подібним чином, додавання яловичого фаршу здатне значно покращити показник PDCAAS пшеничного глютену (0,25 проти 0,77), ізоляту білка соняшнику (0,37 проти 0,84), концентрату білка гороху (0,73 проти 0,80) і арахісового борошна (0,52 проти 0,76).

Водночас зазначалося, що додавання чистих амінокислот для підвищення якості білка в харчовому раціоні слід розглядати лише тоді, коли білкова добавка або комплементація виявилися нездійсненними, оскільки користь від додавання амінокислот не була послідовно продемонстрована на людях, а надлишок додаткової амінокислоти, такої як синтетичний метіонін, може мати шкідливий вплив на немовлят і дітей. У цьому випадку використання удосконаленого показника PDCAAS, що допускає величини понад 1 (100 %) може надати інформацію про можливість взаємодоповнення (компліментації) та потенціал доповнення джерела білка.



Таблиця 24 — Показники PDCAAS деяких білкових сумішей

Суміш (протеїнова основа 50:50)	Засвоюваність білка	АкК	PDCAAS
Борошно пшеничне	90	0,46	0,41
+ яловичина	93	0,91	0,85
+ яечний білок	95	0,83	0,79
+ казеїн	95	0,96	0,91
+ рапсовий концентрат	93	0,72	0,67
+ горохове борошно	92	0,89	0,82
+ соєвий білок	92	0,78	0,72
Яловичина			
+ рапсовий концентрат	95	1,12	1,00
+ ізолят ріпаку	96	1,12	1,00
+ соєвий концентрат	96	1,17	1,00
+ соєвий ізолят	98	1,07	1,00
+ арахіс	95	0,80	0,76
+ гороховий концентрат	95	0,84	0,80
+ соняшниковий ізолят	95	0,88	0,84
+ пшенична клейковина	95	0,81	0,77

Джерело: звіт ФАО/ВООЗ (1991)

З врахуванням наявних даних в методику розрахунку показника PDCAAS було внесено два коригуючих уточнення, які дали змогу вирішити згадані вище суперечності:

✓ якщо АкК навіть лімітуючої амінокислоти виявляється більшим 1, його спочатку прирівнюють до 1, і лише потім множать на показник засвоюваності білка;

✓ розраховуючи біологічну цінність сумішей, враховують як засвоюваність кожної окремої амінокислоти (цей показник можна приймати рівним показнику загальної засвоюваності білка), так і загальну засвоюваність білків суміші.

Для прискорення і полегшення розрахунків експерти також рекомендують розраховувати показник PDCAAS, враховуючи лише найдефіцитніші амінокислоти: лізин, сірковмісні амінокислоти (метионін+цистин), треонін і триптофан.

Наприклад, необхідно розрахувати показник PDCAAS суміші, до складу якої входить 70 г борошна пшеничного вищого сорту, 10 г сухої пшеничної клейковини та 20 г ізоляту соєвого білка. Вміст найдефіцитніших амінокислот у білках цих продуктів та відповідну засвоюваність білка наведено у табл. 25.



Таблиця 25 — Вміст найдефіцитніших амінокислот у білках пшеничного борошна, СПК та ІСБ

Амінокислота	Вміст амінокислоти, мг/1 г білка		
	борошно пшеничне вищого сорту	суха пшенична клейковина (СПК)	ізолят соєвого білка (ІСБ)
Лізин (Lys)	24	18	65
Метіонін + цистин (Met+Cys)	34	48	21
Треонін (Thr)	30	27	44
Триптофан (Trp)	10	10	13
Засвоюваність білка, %	96	96	98

Рекомендовану форму та приклад розрахунку показника PDCAAS цієї суміші наведено у табл. 26.

Хоча показник PDCAAS теоретично можна розрахувати для будь-якої суміші харчових продуктів, знаючи величини засвоюваності й вміст амінокислот її складових, на практиці одержана величина не завжди відповідатиме результатам медико-біологічних досліджень через комплементарну взаємодію між білками. Тому твердження про частку засвоюваного білка окремих харчових продуктів не можна використовувати у випадках споживання їх як частини змішаної дієти.

Таблиця 26 — Форма розрахунку показника PDCAAS суміші

Компонент	Вміст в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Засвоюваність, %	Кількість білка, г		Засвоєвана кількість амінокислот, мг			
			Lys	Met+Cys	Thr	Trp		загальна	засвоєвана	Lys	Met+Cys	Thr	Trp
Борошно	70	11	24	34	30	10	96	7,7	7,4	178	252	222	74
СПК	10	83	18	48	27	10	96	8,3	8	144	384	216	80
ІСБ	20	89	65	21	44	13	98	17,8	17,4	1131	365	766	226
Разом:								33,8	32,8	1453	1188	1026	343
Середня величина засвоюваності (засвоєвана кількість білка/загальну кількість білка), %:							97						
Вміст засвоєваних амінокислот у суміші, мг/1 г засвоєваного білка:										44	36	31	10
Вміст амінокислоти у еталонному білку, мг/1 г білка:										48	23	25	6,6
АкК і лімітуюча амінокислота:										0,9	1,6	1,2	1,5
Показник PDCAAS суміші (АкК лімітуючої амінокислоти × середню величину засвоюваності), %										87			



У випадках необхідності маркування біологічної цінності продуктів і раціонів перевагу слід надавати вказуванню величин кількості засвоюваних амінокислот (особливо важливих з поживної точки зору лізину, сірковмісних амінокислот, триптофану та треоніну) і загальної засвоюваності білка, а не кількості придатного для використання білка (вміст білка, помножений на скоригований показник PDCAAS).

Подальше ускладнення щодо використання методики PDCAAS виникає через відсутність достовірної наукової інформації щодо частки загальної потреби в сірковмісних амінокислотах, яку може задовольнити цистин. Без цих знань вираження значень білка в термінах загальної суми метіоніну та цистину має як теоретичні, так і практичні обмеження.

Також було зроблено припущення, що показник PDCAAS не враховуватиме можливі відмінності у поглинанні та використанні організмом людини сумішей чистих амінокислот чи амінокислотних добавок і нативних білків з однаковим амінокислотним профілем, внаслідок можливого швидшого поглинання кристалічних амінокислот, ніж амінокислот, пов'язаних з білками. На практиці, однак, цей ефект не матиме великого значення у випадках, пов'язаних із внесенням невеликих кількостей амінокислот.

У випадку білків дуже низької якості підхід PDCAAS піддавався критиці через невідповідність між обчисленими АМК амінокислот і результатами медико-біологічних досліджень. Хоча було встановлено високу кореляцію між розрахунковим оцінюванням і аналізами білків з біологічною цінністю вище 40 %, ця узгодженість суттєво змінюється залежно від кількості лімітуючої амінокислоти нижче цього рівня. Для прикладу, білки, у яких повністю відсутній лізін (тобто з нульовою розрахунковою оцінкою), можуть мати біологічну цінність на рівні 40 % через здатність організму адаптуватися до низького споживання лізину. Подібним чином і білки, позбавлені інших незамінних амінокислот, можуть мати показники біологічної цінності значно вище нуля. Подібна низька узгодженість між АМК амінокислот і біологічними оцінками, такими як NPU, також може мати місце при низьких рівнях споживання білка. Цей недолік, однак, не має



критичного значення, оскільки існує дуже мало білкових продуктів і раціонів з надзвичайно низьким рівнем незамінних амінокислот. Також підкреслювалося, що суттєва розбіжність між показниками кількості амінокислот і біологічною цінністю білка може виникнути у випадку споживання харчових продуктів, що містять антипоживні чи токсичні складові. У таких випадках усунення (інактивації) токсинів або антиаліментарних факторів за рахунок навіть найпростіших технологічних операцій, таких як замочування/зціджування та/або варіння, дасть змогу задовільно прогнозувати цінність білкової складової за показником PDCAAS.

Інша критика методу включає його нездатність врахувати можливий несприятливий вплив непропорційних кількостей незамінних амінокислот на використання найбільш обмеженої амінокислоти. Надмірні рівні незамінних амінокислот і небілкового азоту також можуть впливати на загальне використання дієтичного білка. Однак можливе виникнення дисбалансу амінокислот у змішаних або належним чином доповнених амінокислотами дієтах людини, здається, не має великого практичного значення.

Накопичені наукові факти щодо теоретичного підґрунтя й практичного використання методу PDCAAS зумовили необхідність переглянути адекватність цього показника порівняно з іншими методами оцінювання якості дієтичного білка, надати обґрунтування та рекомендації щодо прийняття, відхилення та/або його модифікації. З цією метою в 2011 році було скликано чергову нараду експертів ФАО з питань оцінювання якості білка в харчуванні людини. Розглянувши теоретичну основу використання методу PDCAAS, експерти погодилися, що шкала амінокислот призначена для прогнозування якості білка з точки зору потенційної здатності харчового білка забезпечувати відповідну структуру незамінних амінокислот. Фактична ж здатність білка задовольняти потреби в амінокислотах вимагає врахування поправок на засвоюваність і доступність амінокислот. Хоча загальні принципи розрахунку значень PDCAAS експертами не заперечувалися, використання єдиного значення засвоюваності сирого протеїну для коригування засвоєних кількостей кожної окремої незамінної амінокислоти було



визнано за недолік. Адже зібрані на той час дані (табл. 27) переконливо свідчили про існування кількісних відмінностей у величинах засвоюваності сирого протеїну і амінокислот, а також між окремими амінокислотами. У цьому випадку точність розрахованого показника PDCAAS можна було б підвищити, врахувавши дані щодо засвоюваності або біодоступності кожної незамінної амінокислоти.

Таблиця 27 — Фекальна засвоюваність сирого протеїну та амінокислот кормів, визначена у зростаючого щура

Вид корму	Фекальна засвоюваність, %					
	Білок	Лізин	Метионін	Цистин	Треонін	Триптофан
Горохове борошно	88	92	77	84	87	82
Горох (автоклавований)	83	85	62	85	78	72
Квасоля (консерви)	79	78	45	56	72	70
Сочевиця (автокл.)	85	86	59	75	76	63
Боби (автокл.)	86	85	59	75	76	63
Соя (боби)	90	87	82	82	84	89
Арахіс	96	90	85	89	89	94
Пшениця	93	83	94	97	91	96
Казеїн	99	100	99	100	100	100
Знежирене молоко	95	96	92	94	95	98
Яловичина (печена)	100	100	100	100	100	100
Яловича саямі	99	99	99	100	100	100
Ковбаса	94	94	91	95	92	93
Сухі речовини яєчного білка	98	97	98	97	96	97
Тунець	97	97	95	96	98	97
Соевий білок, ізолят	98	98	94	94	96	98
Ріпаковий білок, концентрат	95	91	92	93	91	93
Арахісова паста	98	96	94	100	97	99
Шрот соняшниковий	90	87	92	91	90	97
Геркулес	94	90	92	98	90	97
Пшеничне борошно+казеїн	95	91	91	89	90	90

Джерело: звіт підкомітету ФАО (2011)

Іншим визнаним недоліком підходу PDCAAS стало те, що поправка на засвоюваність базується на оцінюванні засвоюваності сирого протеїну, визначеної для всього травного тракту (тобто засвоюваності фекалій). Ця методика передбачає, що засвоюваність характеризується часткою харчового білка, який



поглинається організмом суб'єкта і визначається на основі вимірювань вмісту азоту в їжі та фекаліях. При цьому «справжня» засвоюваність бере до уваги ступінь, до якої фекальний азот є «ендогенним», вимірюючи фекальні втрати азоту на безбілковій дієті за формулами:

$$\text{уявна засвоюваність білка } UZ = \frac{C - B_m}{C} \cdot 100;$$

$$\text{справжня засвоюваність білка } Z = \frac{C - (B_m - B_{\text{об}})}{C} \cdot 100,$$

де C — споживання азоту, B_m , $B_{\text{об}}$ — втрата азоту з фекаліями на тестовій та безбілковій дієтах відповідно.

Було визнано, що значення засвоюваності амінокислот, отримані фекальним методом, у більшості харчових продуктів не відповідають тим, що отримані методом аналізу в кінці тонкої кишки (тобто в клубовій кишці) (табл. 28).

Також у деяких дослідженнях повідомлялося, що чистий синтез метіоніну та лізину відбувається в товстому кишечнику. Тому, залежно від амінокислоти та їжі, значення засвоюваності амінокислот, отримані методом аналізу фекалій, завищені (що зазвичай і буває) або занижені в порівнянні з показниками, отриманими методом аналізу клубової кишки.

Таблиця 28 — Засвоюваність амінокислот у клубовій та каловій кишках у зростаючої свині, яку годували збалансованою зерновою дієтою

Амінокислота	Засвоюваність, %		Різниця (фекально-клубова, % одиниць)
	клубова кишка	фекалії	
Аргінін	88	92	+4
Валін	79	87	+8
Гістидин	85	92	+7
Ізолейцин	81	87	+6
Лейцин	83	89	+6
Лізін	85	87	+2
Метіонін	85	85	0
Треонін	73	85	+12
Триптофан	79	89	+10
Фенілаланін	82	89	+7
Середнє	82	88	+6

Джерело: звіт підкомітету ФАО (2011)

Хоча було визнано, що вимірювання справжнього фекального білка або засвоюваності амінокислот має вказані недоліки, вважалося, що цей метод на



практиці все ще перевершує метод аналізу клубової кишки. Це рішення ґрунтувалося на невизначеності щодо внеску та варіацій секреції ендogenous білка в кінцевому відділі клубової кишки. Водночас наголошувалося, що в подальшому слід орієнтуватися на показники засвоюваності білка й окремих амінокислот саме в кінці тонкої кишки, оскільки вони краще відображають кількість амінокислот, які поглинаються організмом людини. Виходячи з цих міркувань, для заміни PDCAAS було рекомендовано новий показник якості білка — DIAAS. Він мав враховувати справжню засвоюваність кожної амінокислоти в клубовій кишці, бажано визначену в експериментах на людях, але якщо це неможливо — на зростаючих свинях або зростаючих щурах у вказаному порядку.

4.2 Принципи і проблеми використання методики DIAAS

4.2.1 Біодоступність амінокислот

З моменту рекомендації у 1989 році експертами FAO/WHO використання показника PDCAAS для оцінювання якості білкової складової харчових продуктів і раціонів ця методика у різних модифікаціях отримала широке визнання. Однак накопичення наукових та експериментальних даних виявили кілька проблемних питань, які потребували вирішення. Однією з головних вад методики PDCAAS зазначалося те, що вона не враховує біодоступність окремо взятих амінокислот.

Як уже зазначалося, під «біодоступністю» мають на увазі три властивості харчових продуктів, які можуть змінювати частку метаболічно доступних амінокислот:

1. Засвоюваність.
2. Хімічна цілісність.
3. Відсутність втручання в обмін речовин внаслідок присутності антиаліментарних речовин.

Оскільки на показник біодоступності переважно впливає саме *засвоюваність*, їй було приділено основну увагу в наступних обговореннях консультативних зборів експертів FAO/WHO щодо можливих способів удосконалення



методики PDCAAS чи розроблення нових способів розрахункового оцінювання білкової складової їжі. Відомо, що показник засвоюваності не є постійною характеристикою харчових продуктів і раціонів, а відображає процес взаємодії між їжею та організмом людиною, яка її споживає, і тому може мати індивідуальні особливості. Поняттям «засвоюваність амінокислот» прийнято описувати частку спожитих амінокислот, які абсорбуються організмом людини (тобто зникли з травного тракту). У цьому випадку методикам визначення точної кількості засвоєних амінокислот належить визначальна роль у точності оцінювання білкового компонента.

Згідно методики PDCAAS оцінювання якості білкової складової спожитої їжі базувалося на засвоюваності сирого протеїну, визначеній у всьому травному тракті. Цей підхід передбачає, що засвоюваність кожної амінокислоти така ж, як і загального білка, і що засвоюваність амінокислот, визначена в усьому травному тракті, є точним показником поглинання амінокислот з їжі. Однак спостереження за тваринами з подібною до людини структурою травного тракту викликали сумніви щодо достовірності цих припущень.

У тварин з простим шлунком, які мають добре розвинену товсту кишку (подібно як у людини), велика і різноманітна мікробіота діє на неперетравлений матеріал, що надходить у товсту кишку, спричиняючи значний метаболізм білка, пептидів і амінокислот. Фекальний білок в основному є бактеріальним і за своїм складом не схожий на ряд харчових амінокислот, що залишаються неперетравленими в кінці клубової (тонкої) кишки. Враховуючи, що бактеріальний білок не має прямого стосунку до спожитого харчового білка та неперетравлених харчових амінокислот, нелогічно визначати засвоюваність амінокислот на рівні фекалій. Адже визначення показника засвоюваності амінокислот у цьому випадку не дає змоги чітко встановити кількість абсорбованих амінокислот. Відповідно, вимірювання засвоюваності, визначене на рівні клубової кишки, є критичним для визначення втрат амінокислот як харчового, так і ендогенного походження. Як було показано у попередньому розділі, відмінності у фекально-клубовій засвоюваності як амінокислот, так і білків можуть бути суттєвими, що доведено



багатьма дослідженнями на різних видах тварин з простим шлунком. Немає підстав вважати, що в організмі людини з добре розвиненою товстою кишкою процеси будуть суттєво відрізнятись, і експериментальні дані, отримані в експериментах з людьми, це підтверджують.

Тому оцінювання кількості амінокислот, які поглинаються зі спожитої їжі, з найбільшою точністю можна провести, отримавши результати вимірювання потоку амінокислот, що залишають тонкий кишечник — тобто встановивши засвоюваність на рівні клубової кишки. Водночас уже встановлено, що деякі амінокислоти, які залишають клубову кишку, не мають безпосереднього харчового походження, а є залишками ендогенних процесів і клітинного матеріалу. Ця втрата ендогенного білка відбувається навіть тоді, коли в раціоні немає білка, і тому він є частиною фізіологічної потреби. Цю кількість, яку називають базальною ендогенною втратою (0,6...1 г амінокислот на день), необхідно віднімати від амінокислотного потоку клубової кишки, щоб оцінити внесок неабсорбованих амінокислот з раціону. Коли засвоюваність амінокислот коригують шляхом вирахування постійного узгодженого значення базальної ендогенної втрати, отримане значення називають *стандартизованою засвоюваністю* клубової кишки.

Також експерти констатували, що значення засвоюваності амінокислот у клубовій кишці самі по собі можуть бути не зовсім точними показниками поглинання амінокислот, оскільки можуть бути не враховані мікробний катаболізм і синтез амінокислот у верхніх відділах травного тракту. Однак обговорення доступних на даний час наукових фактів щодо синтезу бактеріальних амінокислот у верхніх відділах шлунково-кишкового тракту, де може відбуватися всмоктування синтезованої амінокислоти, свідчать, що вивчення амінокислотного складу в клубовій кишці забезпечує найкращу доступну основу для оцінки засвоюваності амінокислот, незважаючи на те, що все ще існують невизначеності щодо впливу мікробної активності у верхніх відділах травного тракту.

Тому узгодженою рекомендацією експертів було проведення оцінювання якості харчового білка, що базувалося б на справжніх значеннях засвоюваності



окремих амінокислот у клубовій кишці, а не на загальній (фекальній) засвоюваності білка.

Хімічна доступність амінокислот. Деякі амінокислоти, присутні в харчових продуктах, можуть мати структурну форму, недоступну для утилізації організмом людини. Тобто амінокислота може бути спожита у формі, яка не може бути фізіологічно використана. Частіше за все це явище зустрічається в харчових продуктах, які пройшли термічне оброблення або піддані іншим серйозним технологічним процесам і перетворенням. Найвідомішим прикладом є утворення продуктів реакції Майяра, що призводить до втрати доступності лізину. Тому рекомендується для харчових продуктів, чутливих до пошкодження внаслідок технологічного оброблення, визначати «реактивний», а не «загальний» вміст лізину та справжню засвоюваність клубової кишки саме реактивного лізину (доступність лізину). Інші амінокислоти, особливо сірковмісні, триптофан і треонін, також можуть бути піддатливими до окиснення з втратою біодоступності, тож і для цих амінокислот необхідно в подальшому розробити методики аналізу, подібні до визначення засвоюваності реактивного лізину.

Втрата біодоступності через наявність супутніх речовин. Багато харчових продуктів містять біологічно активні (білкові чи небілкові) речовини, які можуть змінювати біодоступність амінокислот, впливаючи на засвоюваність або постабсорбційне використання. Серед відомих антипоживних факторів — природні (наприклад, дубильні речовини, фітати, інгібітори трипсину, глюкозинолати, ізотіоціанати), накопичені під час переробки (наприклад, D-амінокислоти, лізиноаланін) або утворені в ході генетичної модифікації сільськогосподарських культур (наприклад, лектини). Вплив багатьох з них на процес травлення відомий вже давно і враховується в сучасних методиках визначення справжньої засвоюваності амінокислот клубової кишки. Інші ж речовини, такі як глюкозинолати, ізотіоціанати тощо, мають загальніший метаболічний ефект, і їхній вплив на метаболізм білка може бути виявлений лише в ході медико-біологічних аналізів. Там, де вони можуть знаходитися в значних кількостях, становлячи потенційну проблему, необхідно розробити рекомендації щодо належного



технологічного оброблення для мінімізації їх рівня, а також рекомендації щодо безпечних значень включення їх у раціон.

У деяких випадках, наприклад, при недостатньому забезпеченні енергетичних потреб організму або надлишковому споживанні харчового білка, поглинені амінокислоти можуть бути використані через катаболізм для синтезу АТФ, а не білка. На це також потрібно зважати, проводячи визначення біодоступності амінокислот в стандартизованих умовах стосовно рівнів надходження харчового білка та енергії.

З врахуванням усіх наведених факторів групою експертів ФАО у 2011 році було запропоновано теоретичне обґрунтування і принцип практичної реалізації нового методу — обчислення для оцінювання білкової складової харчових продуктів і раціонів показника DIAAS (*англ.* digestible indispensable amino acid score — *укр.* амінокислотний індекс білка з урахуванням засвоюваності незамінних амінокислот). Беручи до уваги зростаючий масив даних щодо істинної засвоюваності амінокислот, визначено у клубовій кишці, було запропоновано враховувати саме ці значення (табл. 29), порівнюючи їх з фізіологічними потребами людини, відображеними у формулі еталонного білка.

Для зручності цей показник рекомендується виражати у відсотках, для чого найменше отримане значення серед усіх амінокислот множать на 100.

Таблиця 29 — Засвоюваність незамінних амінокислот продуктів, %

Продукт	Незамінна амінокислота*										
	Thr	Val	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Cys	Met	Trp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Білок одноклітинних	51	55	56	58	—	50	63	72	—	86	—
Горох	74	74	77	77	78	76	81	81	72	76	69
Горох (варений)	86	85	73	81	—	70	72	87	—	82	—
Горох (екструдований)	89	87	90	91	93	92	93	92	86	84	87
Жито	69	73	75	76	75	80	77	70	82	79	74
Казеїн	92	95	96	97	98	98	97	97	90	97	97
Казеїнат натрію	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	—
Картопля (дегідратована)	62	58	56	56	58	57	53	62	54	66	47
Картопля фрі (жиру 12...18 %)	52	52	51	50	53	52	47	52	52	47	47
Картопляний білок	84	86	88	90	90	89	85	88	74	89	78
Картопляні чіпси	47	47	44	47	47	47	42	48	47	41	47



Продукт	Незамінна амінокислота*										
	Thr	Val	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Cys	Met	Trp
Кукурудза	78	84	84	88	85	86	84	75	82	86	76
Кукурудзяне борошно	76	85	86	92	91	84	84	76	79	92	78
Кукурудзяні висівки	66	77	77	81	80	80	80	68	69	83	69
Кукурудзяні зародки (шрот)	69	72	75	79	76	81	78	60	64	79	66
М'яса з цукрових буряків	99	89	93	93	92	99	99	99	99	99	99
М'яса з цукрової тростини	99	99	99	78	99	99	99	99	99	99	99
Молоко незбиране	92	89	87	95	96	96	95	91	92	95	93
Молоко сухе знежирене	90	88	87	95	95	97	94	96	85	96	89
Молочний білок (концентрат)	84	89	90	92	87	91	94	93	84	87	89
Насіння льону	80	75	74	74	75	74	74	82	85	86	84
Насіння соняшника	78	79	81	80	81	80	80	77	76	87	79
Овес	70	79	80	82	81	84	85	76	72	82	77
Овес (очищені зерна)	78	87	88	88	89	91	92	83	80	89	79
Пшениця	83	85	88	88	87	89	88	80	88	88	88
Пшенична клейковина	91	95	96	96	95	96	99	86	96	94	90
Пшеничне борошно (клітковини до 3,5 %)	86	90	90	91	92	89	91	87	86	90	89
Пшеничне борошно (клітковини 3,5...5,5 %)	80	84	84	86	87	84	86	82	83	86	84
Пшеничні висівки	67	72	73	76	77	75	80	70	74	77	71
Пшеничні зародки	81	83	84	85	86	86	87	83	82	87	82
Рис	82	88	75	81	79	86	99	92	97	86	89
Рисові висівки	64	66	67	67	79	68	77	69	65	73	72
Сироватка сирна (сухих речовин 17,5...27,5 %)	88	88	88	88	89	87	89	90	89	92	85
Сироватковий білок (концентрат)	93	98	99	99	99	99	89	97	99	99	100
Сироватковий порошок	89	88	89	88	89	87	90	91	91	89	87
Соєвий білок (ізолят)	98	97	97	97	99	98	99	99	97	98	95
Соєвий білок (концентрат)	97	97	97	97	99	97	97	98	91	96	—
Соєві боби (варені)	81	78	73	80	—	80	76	80	—	72	—
Сорго	84	86	87	88	85	89	81	79	78	87	87
Ячмінь	77	80	81	82	83	83	82	76	81	83	80

*Thr – треонін, Val – валін, Ile – ізолейцин, Leu – лейцин, Tyr – тирозин, Phe – фенілаланін, His – гістидин, Lys – лізин, Cys – цистин, Met – метіонін, Trp – триптофан

Джерело: звіт підкомітету ФАО (2011)



У випадку відсутності повної інформації про істинну засвоюваність усіх незамінних амінокислот допускається проводити розрахунок лише для п'яти найдефіцитніших з них (лізин, метионін + цистин, треонін і триптофан).

За еталонне співвідношення запропоновано прийняти останні дані щодо фізіологічних потреб людини з врахуванням віку (табл. 30):

- немовлята (від народження до 6 місяців) — структура грудного молока;
- малі діти (від 6 місяців до 3 років);
- діти старшого віку, підлітки та дорослі.

Таблиця 30 — Формули еталонного білка споживачів різного віку

Амінокислота	Пропонований вміст, мг/1 г білка		
	немовлята	діти	дорослі
Валін	55	43	40
Гістидин	21	20	16
Ізолейцин	55	32	30
Лейцин	96	66	61
Лізин	69	57	48
Метионін+цистин	33	27	23
Треонін	44	31	25
Триптофан	17	8,5	6,6
Фенілаланін+тирозин	94	52	41

Джерело: звіт ФАО (2013)

4.2.2 Порядок розрахунку показника DIAAS

1. Обчислюється вміст засвоюваної НАк в 1 г білка їжі як добуток кількості НАк в 1 г білка їжі й справжнього коефіцієнта засвоюваності клубової кишки для тієї самої НАк (коефіцієнт засвоюваності є відсотковим значенням, поділеним на 100, наприклад, засвоюваність = 90 %, коефіцієнт = $90/100 = 0,90$);

2. Розраховується показник засвоюваності для кожної НАк як відношення вмісту засвоюваної НАк в 1 г харчового білка (мг) до маси тієї ж НАк в 1 г еталонного білка;

Для певного білковмісного продукту DIAAS буде найнижчим розрахованим значенням отриманого співвідношення, вираженого у відсотках.



Тобто, DIAAS можна обчислити як:

$$\text{DIAAS} = \frac{\text{мг засвоюваної незамінної амінокислоти в 1 г досліджуваного білка}}{\text{мг цієї ж амінокислоти в 1 г еталонного білка}}$$

Наприклад, використовуючи дані про амінокислотний склад білка пшеничного борошна, наведені у табл. 5, а також показники засвоюваності цих амінокислот (табл. 29), розрахунок показника DIAAS можна представити у такому вигляді (табл. 31).

Таблиця 31 — Порядок розрахунку показника DIAAS для одного продукту (на прикладі пшеничного борошна вищого сорту)

Амінокислота (Ак)	Вміст Ак, мг/г білка	Засвоюваність Ак, %	Кількість засвоюваних Ак, мг/г білка	Вміст Ак, мг/г еталонного білка ФАО 2011 р.	АкК і лімітуюча Ак	Показник DIAAS за лімітуючою Ак %
Валін	46	90	41,4	40	1,04	0,44 · 100 = 44
Гістидин	19	91	17,3	16	1,08	
Ізолейцин	42	90	37,8	30	1,26	
Лейцин	79	91	71,9	61	1,18	
Лізин	24	87	20,9	48	0,44	
Метионін+цистин	34	88	29,9	23	1,30	
Треонін	30	86	25,8	25	1,03	
Триптофан	10	89	8,9	6,6	1,35	
Фенілаланін+тирозин	78	89	69,4		1,69	

Для суміші кількох білковмісних продуктів, за відсутності встановленого медико-біологічними дослідженнями їх амінокислотного складу, допускається обчислювати показник DIAAS на основі вмісту й засвоюваності амінокислот окремих її компонентів.

Наприклад, обчислення значення DIAAS для трикомпонентної суміші з 70 г пшеничного борошна, 20 г сухої пшеничної клейковини (СПК) і 10 г ізоляту соєвого білка (ІСБ), зручно проводити у табличному вигляді (табл. 32)

Обчислюючи показник DIAAS, слід враховувати, що значення DIAAS може бути не лише нижче, але за деяких обставин і вище 100 %. Значення, що перевищують 100 %, не слід скорочувати, за винятком випадків, коли розраховується DIAAS для споживання білків або амінокислот харчових продуктів з єдиного



джерела (наприклад, у дитячих сумішах). Адже у цьому випадку показник DIAAS може бути використаний для коригування харчового споживання білка відповідно до потреб (тобто обчислення рівня безпечного споживання будь-якої дієти стосовно вмісту білка як безпечної потреби в білку, поділеної на цінність харчового раціону за показником DIAAS). І якщо використовувати значення DIAAS понад 100 %, це означатиме, що для «високобілкових» дієт, заснованих, наприклад, на яйцях або молоці, для яких значення DIAAS окремих білків можуть перевищувати 100 %, безпечне споживання цієї дієти буде нижчим за безпечний рівень вимог.

Таблиця 32 — Форма і порядок розрахунку показника DIAAS багатокомпонентної суміші

Компонент	Вміст в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Істинна засвоюваність амінокислот, %				Кількість білка в суміші, г	Засвоювана кількість амінокислот, мг			
			Lys	Met+ Cys	Thr	Trp	Lys	Met+ Cys	Thr	Trp		Lys	Met+ Cys	Thr	Trp
			А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	К		Л	М	$H=A \times B / 100$	$B \cdot Ж \times H / 100$
Борошно	70	11	24	34	30	10	87	88	86	89	7,7	161	230	199	69
СПК	10	83	18	48	27	10	86	95	91	90	8,3	128	378	204	75
ІСБ	20	89	65	21	44	13	99	98	98	95	17,8	1145	366	768	220
Разом:											33,8	434	74	171	64
Вміст засвоюваних амінокислот у суміші, мг/1 г білка:												42,4	8,8	4,6	0,8
Вміст амінокислоти у еталонному білку, мг/1 г білка:												48,0	23,0	25,0	6,6
АкК і лімітуюча амінокислота												0,88	1,25	1,39	1,63
Показник DIAAS (%), обумовлений лімітуючою амінокислотою:												$0,88 \cdot 100 = 88$			

Водночас значення показника DIAAS понад 100 % вказує на потенціал для доповнення білка нижчої якості за умови підтримання відповідного загального споживання азоту. Тобто з'являється можливість складання харчових раціонів з врахуванням явища компліментарності (взаємодоповнення) амінокислотного складу різних білків. Однак значення DIAAS для нових композицій харчових продуктів, доповнених кристалічними амінокислотами, має бути підтверджено медико-біологічними тестами. Також біологічне оцінювання повинні пройти джерела білка, для яких немає попередніх даних щодо метаболічної доступності



білкової складової в цілому й окремих амінокислот. А замітники їжі не повинні мати значення DIAAS нижче, ніж бали для еквівалентної натуральної їжі.

Допускаючи використання показника DIAAS для *маркування* харчових продуктів і раціонів, експерти наголосили, що якість не може замінити кількість і заяву про якість білка можна робити лише для їжі, що відповідає критеріям щодо кількості білка.

Щоб зробити заяву про кількість і якість білкової складової певного харчового продукту чи раціону, вміст білка слід визначити загальноприйнятими аналітичними методами, а якість оцінити за допомогою DIAAS. Нормований рівень споживання (НРС) білка, рекомендований Codex Alimentarius для цілей маркування в інтересах міжнародної стандартизації та гармонізації, прийнято за 50 г.

Щоб отримати статус «джерело білка», їжа має містити таку кількість білка: 10 % НРС на 100 г сухого продукту; 5 % НРС на 100 мл рідини; або 5 % НРС на 100 ккал (12 % НРС на 1 МДж); або 10 % НРС на порцію. Для отримання статусу «високий вміст білка», їжа повинна містити вдвічі більше за вказані для «джерела» рівні.

Граничні значення DIAAS потрібні для того, щоб розрізнити високу якість (наприклад, DIAAS = 100 або більше) і гарну якість (DIAAS = 75...99). Рекомендується дозволити твердження «якість», пов'язане з білком — наприклад, «джерело якісного білка». Водночас не рекомендується допускати жодних тверджень про поживну цінність джерела чи високий вміст білка для продуктів з DIAAS, нижчим за певне порогове значення (наприклад, 75). Приклад того, як можна застосувати ці граничні значення DIAAS, наведено в таблиці 33. Фактичні значення граничних величин DIAAS у контексті подібного маркування вимагають ретельного подальшого розгляду (наприклад, у зв'язку з національними та місцевими моделями харчування).

Експерти наголошували, що головна відмінність між DIAAS і PDCAAS полягає в тому, що використовується справжня амінокислотна засвоюваність клубової кишки, а не значення фекальної засвоюваності сирого протеїну, прийняте для всіх амінокислот. Однак до тих пір, поки не стане доступним узгоджений



набір даних щодо справжньої засвоюваності амінокислот харчових продуктів у клубовій кишці, якість білкової складової харчових продуктів і раціонів допускається оцінювати за допомогою показника DIAAS, але використовуючи значення фекальної засвоюваності сирого протеїну. У цьому випадку значення засвоюваних окремих харчових амінокислот слід розраховувати, використовуючи значення засвоюваності сирого протеїну, застосовані до цих амінокислот.

Таблиця 33 — Приклад використання показника DIAAS для оцінювання якості білка в контексті маркування

Продукт	Вміст білка (г/100 г)	DIAAS	Оцінка якості	Оцінка кількості	Відповідність вимогам кількості та якості
Пшениця	11	40	Низький	Так, високий	Ні
Горох	21	64	Низький	Так, високий	Ні
Незбиране сухе молоко	28	122	Високий	Так, високий	Так, високий

Джерело: звіт ФАО (2013)

Розглянувши баланс між потенційною користю від застосування DIAAS і складністю його визначення порівняно з PDCAAS, експертами було досягнуто згоди, що концептуально засвоюваність клубової кишки є кращою, ніж засвоюваність фекалій. Однак була висловлена стурбованість, чи є достатньо опублікованих даних про справжню засвоюваність амінокислот клубової кишки для різноманітних дієт людини, щоб уможливити введення системи розрахунку, заснованого саме на клубовій засвоюваності. Також експерти зазначили, що більшість даних про засвоюваність амінокислот у клубовій кишці були отримані як результат досліджень на свинях і щурах. І хоча ці дослідження проводилися за стандартизованими методиками, існує сумнів, що використовувані продукти були репрезентативними для раціону людей, у тому числі в країнах, що розвиваються, і що одержані дані щодо засвоюваності у тварин будуть типовими для людей.

Аби прийняти обґрунтоване рішення щодо DIAAS, необхідно накопичити доступну надійну базу даних про засвоюваність амінокислот харчових продуктів і дієт з різних регіонів світу. Крім того, існує потреба у визначенні продуктів, які



зазвичай споживають люди, зосереджуючись на дієтах, які споживають уразливі верстви населення різного віку в країнах з низьким рівнем доходу. А це пов'язано з необхідністю проведення кількох досліджень з використанням однакових методологій у різних регіонах. Також існує потреба в протоколах для оцінювання зміни фізіологічних потреб в білках і амінокислотах людей внаслідок особливих фізіологічних станів, таких як вагітність, хронічне запалення тощо. Для цих груп необхідно буде розробити еталонні шаблони потреб в амінокислотах, які використовуватимуться з новими даними DIAAS.

Зважаючи на висловлені зауваження, було прийнято рішення скликати два підкомітети FAO/WHO для уточнення цих питань. Першому підкомітету було доручено зібрати всі доступні дані про травлення клубової кишки людини та тварин, тоді як другому підкомітету належало оцінити ці зібрані дані, щоб визначити, чи достатньо їх для заміни вже поширеного методу PDCAAS на DIAAS. За результатами роботи цих підкомітетів було зроблено висновок, що наразі недостатньо достовірних даних для переходу на DIAAS, водночас цей метод має ряд переваг, тому потрібно активізувати роботу щодо накопичення масиву даних про справжню засвоюваність амінокислот клубової кишки людини, насамперед узгодивши методику порівняння міжвидової (людини, свині, щури) справжньої засвоюваності амінокислот клубової кишки. Також було запропоновано зібрати окрему робочу групу, яка б розглянула наявні на цей момент методи вимірювання та прогнозування перетравлення й ефективності використання білків і амінокислот в організмі людини.

Ця група експертів FAO/WHO зібралася у 2014 році. Вона визнала, що найкращим є проведення визначень справжньої засвоюваності амінокислот безпосередньо для людського організму. Однак це неможливо з багатьох причин. У цьому випадку слід віддавати перевагу дослідженням, проведеним на зростаючих свинях, оскільки їх система травлення та засвоєння поживних речовин фізіологічно більш подібна до людської, ніж у щурів. Водночас група підкреслила, що ці дані можна поширювати лише на здорових людей, але їх потрібно



додатково коригувати, зважаючи на вік, достатність харчування та особливі фізіологічні стани (хвороби, паразитні навантаження, вагітність і лактація).

4.2.3 Перспективи методології DIAAS

Оцінивши методи визначення засвоюваність амінокислот, група експертів FAO/WHO рекомендувала віддавати перевагу прямим ізотопним методам *in vivo*, перед тим порівнявши одержані дані з аналізами індикаторного окислення амінокислот (IAAO) і чистого використання білка після споживання (NPPU) (див. пп. 2.3.3, 2.3.5).

Також експерти звернули увагу на перспективність розробленого модифікованого методу DIAAS оцінювання перетравлюваних незамінних амінокислот з використанням подвійного ізотопного трекера. Адже відомо, що основною перешкодою до широкого впровадження методу DIAAS є проблема швидкого накопичення дослідних даних через ускладнену доступність клубової кишки для проведення медико-біологічних досліджень. Метод подвійного стабільного ізотопного трекера, розроблений вже на початку цього століття, дасть змогу забезпечити мінімально інвазивний спосіб оцінювання засвоюваності без необхідності інтубації або штучної вентиляції кишківника. Метод також мінімізує навантаження на суб'єкт дослідження, оскільки потребує споживання лише одного тестового приймання їжі, за наслідками якого вимірюється вміст амінокислот у плазмі крові. Додаткова перевага методу полягає в тому, що він не обмежується лише встановленням величини DIAAS, яка в основному описує біодоступність білка в харчових продуктах і раціонах, а дає змогу також додатково оцінити ступінь утилізації амінокислот, надаючи таким чином інформацію про інші аспекти якості білкової складової. Метод подвійної ізотопної мітки використовує внутрішнє маркування, що дозволяє вивчати засвоєння конкретного рослинного білка незалежно від інших білків у досліджуваній їжі і незалежно від ендогенних білків в організмі.

Ідея методу полягає у тому, щоб супроводжувати досліджуваний білок невеликою кількістю високозасвоюваного білка, міченого іншим ізотопом, і вживати його в тій самій збалансованій їжі. Тоді за співвідношенням появи в крові



по-різному мічених амінокислот можна оцінити справжнє перетравлення та всмоктування досліджуваного білка. Цей принцип є засобом розробки неінвазивної процедури, яка дозволяє уникнути інтубації. Новизна цього підходу полягає у використанні саме подвійного маркування, коли вимірювання амінокислоти досліджуваного білка порівнюється з еталонним білком. Еталонний білок може бути загальним для всіх вимірювань із використанням цього підходу та походить із якогось джерела одноклітинного білка, високо збагаченого стабільним ізотопом. Головне, щоб еталонний білок був добре засвоюваним і культурно прийнятним. Щонайкраще цьому критерію відповідає мікрододорісний білок сертифікованої якості (наприклад, спіруліна). Його амінокислотний склад не обов'язково повинен бути точно таким же, як у загальноприйнятих високоякісних білків, таких як яєчний білок (або білок жіночого грудного молока), оскільки можуть бути застосовані необхідні коефіцієнти коригування.

Цей метод має великі перспективи, особливо якщо будуть розроблені різні тестові білки з різною засвоюваністю, включаючи традиційні зернові та бобові культури. Якщо вдасться розробити спрощений протокол, він стане придатний для використання в більших дослідженнях і для використання у дітей, з меншою тривалістю та меншою кількістю зразків крові. Якщо виявиться можливим приготувати тестову їжу так, щоб індикатори з'являлися одночасно, теоретично можливо отримати параметри з одного зразка крові, взятого ближче до часу максимальної появи індикатора. Додатково проводяться дослідження щодо можливості використання зразків слини або сечі, щоб зробити ці вимірювання прийнятнішими для використання у немовлят. Якщо одночасно зі збиранням зразків крові проводити відбирання зразків дихання, можна отримати додаткові параметри якості білка — наприклад, його утилізацію (окиснення).

Основним обмеженням підходу подвійного індикатора є вартість отримання стабільних ізотопно мічених білків разом із вартістю аналізу. Слід зазначити, що ці витрати не враховують неефективність під час внутрішнього маркування рослин, яка може бути значною. Витрати на придбання індикаторів можуть бути зменшені за рахунок використанню найсучаснішої мас-спектрометрії. Це дасть



зможу використовувати мінімальну кількість індикаторів. Пропонується застосовувати цей метод у невеликих ключових групах, обираючи їх з метою отримання максимальної кількості інформації для подальших масштабніших досліджень з харчування. Тоді, за рахунок мінімізації кількості зразків, необхідних для отримання необхідних результатів, один центр мас-спектрометрії зможе підтримувати дослідження на широкій географічній території.

Ще одним обмеженням методу подвійних ізотопних трекерів є потреба в широкій узгодженості результатів. Як нова концепція, валідаційні дослідження необхідні для того, щоб підхід отримав широке визнання, але на сьогодні вони можуть бути виконані лише в контрольованих умовах і в невеликій групі здорових дорослих добровольців. Але суттєві переваги методу роблять його найперспективнішим серед існуючих і з накопиченням необхідного масиву статистичних даних він може стати одним з визначальних для оцінювання білкової складової різноманітних харчових продуктів і раціонів.



Conclusions and recommendations

Висновки і рекомендації

Споживання достатньої кількості повноцінного білка є однією з ключових характеристик збалансованого харчування людини. Тому важливим завданням харчової науки є розроблення принципів і методик встановлення мінімальних і рекомендованих меж споживання білкових продуктів, що враховуватимуть фізіологічні потреби людей різного віку, статі, рівня фізичної активності тощо. На сьогодні в цілому сформовано модель білкового обміну в організмі людини, однак щодо багатьох окремих питань метаболізму білка, амінокислот та азоту залишається певна невизначеність, що потребує продовження і поглиблення наукових досліджень. Але вже загально визнано, що у загальній схемі метаболізму азотистих речовин обміну амінокислот належить особлива роль.

Для встановлення рекомендованих безпечних меж споживання білкових продуктів і раціонів важливо враховувати не лише кількість спожитого білка, але й його засвоюваність, а також спроможність адаптації організму людини як до недостатнього, так і до надлишкового білкового харчування.

Для більшості розвинених країн, населення яких харчується змішаними раціонами, не існує небезпеки білкового голодування — навпаки, особливо для м'ясоїдів, кількість спожитого білка зазвичай перевищує науково рекомендовані рівні. До того ж дуже часто як доповнення до традиційного харчування вживаються протеїнові та амінокислотні добавки, легкодоступні для широкого загалу.

Немає однозначного наукового доведення шкоди споживання надлишкової кількості білка, якщо тільки вона не перевищує рекомендоване значення у 3...4 рази. Підвищене споживання білка мало впливає на функцію нирок, серцево-судинну систему, здоров'я кісткової тканини та онкологічні захворювання у людей, що не мають супутніх захворювань чи належать до груп ризику. Водночас не рекомендується перевищувати норму споживання білка 1,4 г/кг маси тіла на день, отримуючи близько 20 % енергії з білкової складової харчування.



Для дорослих споживачів (понад 18 років) рекомендована величина безпечного споживання високозасвоюваного білка становить 0,83 г/кг маси тіла на день незалежно від статі й віку, для дітей і підлітків ці фактори потрібно враховувати, орієнтуючись або на реальну, або на середню рекомендовану вагу.

Для однозначної характеристики білкового продукту чи раціону потрібно мати дані щодо абсолютного та відносного вмісту окремих незамінних амінокислот, засвоюваності білка та біодоступності окремих амінокислот. Найточнішими методами оцінювання метаболічних показників балансу азоту є клінічні дослідження на людях, однак поки що вони не доступні повною мірою, зважаючи на високу вартість і етичну складову.

Існує значна кількість медико-біологічних методик оцінювання якості білкової складової окремих продуктів і раціонів на тваринах (переважно щурах і свинях), однак результати жодного з них не можуть бути однозначно перенесені на людину, а встановлення коефіцієнтів кореляції ускладнене відмінностями у фізіології харчування і не враховує особливих кліматичних умов чи фізіологічних станів людини (вагітність, годування грудьми, інфекційні та неінфекційні захворювання, старіння тощо).

Складність, висока вартість і етична складова проведення медико-біологічних досліджень на людях і навіть на тваринах викликала появу значної кількості розрахункових методик оцінювання білка харчових продуктів і раціонів. Більшість з них враховують кількість і співвідношення незамінних амінокислот у досліджуваному білку й використовують певний зразок порівняння (еталонний білок).

Формула еталонного білка неодноразово змінювалася з розвитком і удосконаленням методик оцінювання якості білоквмісних продуктів та аналізу окремих амінокислот. Важливими етапами можна відзначити внесення до списку незамінних амінокислот гістидину (1981 р.), а також твердження про необхідність врахування не лише кількості, але й біодоступності кожної з амінокислот (формули 2002 і 2011 рр).



Сучасними міжнародно визнаними на рівні ФАО/ВООЗ методиками оцінювання білкової складової харчових продуктів і раціонів є PDCAAS (*англ.* protein digestibility corrected amino acid score — *укр.* амінокислотний індекс білка з урахуванням його засвоюваності) і DIAAS (*англ.* digestible indispensable amino acid score — *укр.* амінокислотний індекс білка з урахуванням засвоюваності незамінних амінокислот). Кожна з методик передбачає проведення коригування отриманої оцінки амінокислотного складу досліджуваного білка з врахуванням або загальної засвоюваності білка (PDCAAS), або навіть метаболічної доступності окремих амінокислот (DIAAS).

Зважаючи на наявний масив наукових даних щодо засвоюваності окремих білків, перспективним є перехід від поширеної методики оцінювання лише амінокислотного індексу білка (як ступеня відповідності його формулі еталонного білка) до методики PDCAAS, яка пройшла багаторазову перевірку на збіжність з результатами медико-біологічних досліджень, а процедура проведення підготовчих досліджень і розрахунків детально описана.

Методика DIAAS теоретично має забезпечувати отримання найдостовірніших даних щодо біологічної цінності білків харчових продуктів і раціонів, адже враховує засвоюваність кожної з незамінних амінокислот на рівні клубової кишки (на відміну від показників фекальної засвоюваності, що використовувалися в попередніх методах), а також — можливу втрату біодоступності амінокислот в результаті технологічних впливів і наявності супутніх антипоживних речовин. Водночас база даних про засвоюваність окремих амінокислот ще не достатньо велика, аби рекомендувати цей метод як єдиний стандарт визначення біологічної цінності різноманітних продуктів і раціонів.

Важливим кроком у прискоренні переходу до широкого впровадження показника DIAAS є розроблення методики оцінювання засвоюваності незамінних амінокислот з використанням подвійного ізотопного трекара. Цей метод з мінімальною інвазивністю здатен забезпечити отримання широкого масиву даних щодо біодоступності й ступеню утилізації окремих амінокислот, а поєднання його з сучасними можливостями мас-спектрометрії дасть змогу проводити



дослідження у різних регіонах і враховувати специфічні раціони та фізіологічні стани різних груп споживачів.



Recommended literature

Рекомендована література

Resolutions and recommendations of FAO/WHO

Рішення і рекомендації ФАО/ВООЗ

FAO Committee on Protein Requirements. *Nutrition Studies № 16*. Rome: FAO, 1958.

Protein requirements : *report of a Joint FAO/WHO expert group*. Geneva : FAO, 1963. — 72 p. URL:

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40619/WHO_TRS_301.pdf

Energy and protein requirements : *report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee*. Rome : FAO, 1971. 118 p. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41042/WHO_TRS_522_eng.pdf

Energy and protein requirements : *report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*. Rome : FAO, 1981. 208 p. URL:

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39527/WHO_TRS_724_%28chp1-chp6%29.pdf (chp. 1);

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39527/WHO_TRS_724_%28chp7-chp13%29.pdf (chp. 2).

Report of the Fifth Session of the Codex Committee on vegetable proteins. Ottawa: Codex Alimentarius Commission, 1989. 41 p. URL:

https://www.fao.org/input/download/report/390/al89_30e.pdf

Protein quality evaluation: *report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation*. Rome : FAO, 1991. 66 p. URL: <https://www.fao.org/3/t0501e/t0501e.pdf>

Protein and amino acid requirements in human nutrition : *report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*. Geneva : WHO, 2007. 256 p. URL:

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43411/1/WHO_TRS_935_eng.pdf

The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods : *Report of a Sub-Committee of the 2011 FAO Consultation on “Protein Quality Evaluation in*



Human Nutrition”, New Zealand, 2012. 58 p. URL:

<https://www.fao.org/ag/humannutrition/36216-04a2f02ec02eafd4f457dd2c9851b4c45.pdf>

Dietary protein quality evaluation in human nutrition : *Report of an FAO Expert Consultation*. Rome : FAO, 2013. 66 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>

Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods : *Report of an FAO Expert Working Group*. Rome: FAO, 2014. 60 p. URL: <https://www.fao.org/3/i4325e/i4325e.pdf>

Thematic publications

Тематичні публікації

Краєвська С. П., Стеценко Н. О., Бандуренко Г. М. Оцінювання якості білка насіння льону методом DIAAS. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2018. Т. 18, № 3. С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i3.1073> (дата звернення: 22.04.2024).

Махинько В. М., Соколовська І. О., Черниш Л. М. Розрахунок біологічної цінності харчових продуктів та раціонів за методикою PDCAAS. *Зернові продукти і комбікорми*. 2017. № 65. С. 22–26. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/25341> (дата звернення: 22.04.2024).

Махинько В. Н. Соколовская И. А., Шаран А. В. DIAAS — усовершенствованная методика расчета биологической ценности пищевых продуктов и рационов. *Вестник Алматинского технологического университета*. 2017. Выпуск 2 (115). С. 48–53. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/25859> (дата звернення: 22.04.2024).

Махинько В. Н., Соколовская И. А., Землинская М. Д. Инновации в оценке белковой составляющей пищевых продуктов. *Научный взгляд в будущее*. 2017. Выпуск 5. Том. 2. С. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2017-05-02-088> (дата звернення: 22.04.2024).

Формула еталонного білка: етапи розроблення і сучасні норми / В. М. Махинько та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*.



2017. Т. 23. № 2. С. 208–216. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/25340>
(дата звернення: 22.04.2024).

Bailey H., H. Stein H. Transitioning from the Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) to the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) to evaluate protein quality of human foods. *INFORM International News on Fats, Oils, and Related Materials*. 2019. Vol. 30, no. 6. P. 22–24. DOI: <https://doi.org/10.21748/inform.06.2019.22> (date of access: 22.04.2024).

Comprehensive overview of the quality of plant- And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score / L. Herreman et al. *Food Science & Nutrition*. 2020. Vol. 8, no. 10. P. 5379–5391. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1809> (date of access: 22.04.2024).

Consideration of utilizable amino acid content in the context of dietary protein quality assessment / S. Adhikari et al. *Sustainable Food Proteins*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/sfp2.1020> (date of access: 22.04.2024).

Dietary Requirements for Proteins and Amino Acids in Human Nutrition / M. Brestenský et al. *Current Nutrition & Food Science*. 2019. Vol. 15, no. 7. P. 638–645. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573401314666180507123506> (date of access: 22.04.2024).

Evaluation of Protein Quality in Humans and Insights on Stable Isotope Approaches to Measure Digestibility — A Review / S. Bandyopadhyay et al. *Advances in Nutrition*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmab134> (date of access: 22.04.2024).

Herring roe protein has a high digestible indispensable amino acid score (DIAAS) using a dynamic in vitro gastrointestinal model / R. Havenaar et al. *Nutrition Research*. 2016. Vol. 36, no. 8. P. 798–807. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2016.05.004> (date of access: 22.04.2024).

Leser S. The 2013 FAO report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: Recommendations and implications. *Nutrition Bulletin*. 2013. Vol. 38, no. 4. P. 421–428. DOI: <https://doi.org/10.1111/nbu.12063> (date of access: 22.04.2024).



Limitations with the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) with Special Attention to Plant-Based Diets: a Review / J. C. Craddock et al. *Current Nutrition Reports*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-020-00348-8> (date of access: 22.04.2024).

Marinangeli C. P. F., House J. D. Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutrition Reviews*. 2017. Vol. 75, no. 8. P. 658–667. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux025> (date of access: 22.04.2024).

Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores and Digestible Indispensable Amino Acid Scores Differentially Describe Protein Quality in Growing Male Rats / S. M. Rutherford et al. *The Journal of Nutrition*. 2014. Vol. 145, no. 2. P. 372–379. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.114.195438> (date of access: 22.04.2024).

Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications / S. Adhikari et al. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 5. P. 947. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14050947> (date of access: 22.04.2024).

Research Approaches and Methods for Evaluating the Protein Quality of Human Foods Proposed by an FAO Expert Working Group in 2014 / W. T. Lee et al. *The Journal of Nutrition*. 2016. Vol. 146, no. 5. P. 929–932. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.115.222109> (date of access: 22.04.2024).

Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality / S. Huang et al. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. Vol. 58, no. 15. P. 2673–2678. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1396202> (date of access: 22.04.2024).

Schaafsma G. Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. *British Journal of Nutrition*. 2012. Vol. 108, S2. P. S333–S336. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114512002541> (date of access: 22.04.2024).

Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) — A Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 2005. Vol. 88,



no. 3. P. 988–994. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.988> (date of access: 22.04.2024).

Приклади бібліографічного опису даної монографії різними стилями:

ДСТУ 8302:2015: Махинько В. М., Шаран А. В., Махинько Л. В. *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність* : монографія. Karlsruhe : ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024. 120 с. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

APA (7th ed.): Махинько, В. М., Шаран, А. В., & Махинько, Л. В. (2024). *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. ScientificWorld-NetAkhatAV. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

Chicago (17th ed.): Махинько, Валерій Миколайович, Андрій Васильович Шаран та Людмила Василівна Махинько. *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

Harvard: Махинько, В. М., Шаран, А. В. та Махинько, Л. В., (2024). *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

IEEE: В. М. Махинько, А. В. Шаран та Л. В. Махинько, *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

MLA (9th ed.): Махинько, Валерій Миколайович, та ін. *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

Vancouver: Махинько ВМ, Шаран АВ, Махинько ЛВ. *Харчовий білок: фізіологічна потреба і біологічна цінність*. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV; 2024. 121 с. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024

Транскрипція латиницею: Makhynko V. M., Sharan A. V., Makhynko L. V. *Kharchovyi bilok: fiziologichna potreba i biolohichna tsinnist* : monohrafiia. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV, 2024. 120 s. ISBN 978-3-98924-014-8. DOI: 10.30890/978-3-98924-014-8.2024



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
**DIETARY PROTEIN:
PHYSIOLOGICAL NEED AND BIOLOGICAL VALUE**

**ХАРЧОВИЙ БЛОК:
ФІЗІОЛОГІЧНА ПОТРЕБА І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ**

MONOGRAPHIC SERIES « Innovative Science, Education, Manufacturing and Transport »
BOOK 12.

Authors / Автори:

Makhynko Valerii Mykolaiovych / Махинько Валерій Миколайович
Sharan Andrii Vasylovych / Шаран Андрій Васильович
Makhynko Liudmyla Vasylivna / Махинько Людмила Василівна

Monograph published in the author's edition

The monograph is included in
International scientometric databases

120 copies
May, 2024

Published:
ScientificWorld-Net Akhvat AV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org
<https://de.promonograph.org>

ISBN 978-3-989240-14-8



9 783989 240148



