



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО ТЕНИЧКИ ФАКУЛТЕТ ВЕЛЕС**



Иновативни технологии за храна и нутриционизам

**НАВИКИ НА ИСХРАНА КАЈ ПОУЛАЦИЈА СО ДИЈАБЕТЕС ТИП 2 И
МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА НА РЕЖИМ НА
ИСХРАНА**

Втор докторски проект

Кандидат
Валбона Мазлами (бр.10)

Ментор
ред.проф.д-р Весна (Антоска) Knights

НАВИКИ НА ИСХРАНА КАЈ ПОПУЛАЦИЈА СО ДИЈАБЕТЕС ТИП 2 И МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА НА РЕЖИМ НА ИСХРАНА

Валбона Мазлами

Универзитет “Св. Климент Охридски” – Битола, Р.С. Македонија

[0009-0006-6023-5751](tel:0009-0006-6023-5751)

valbona.mazlami@uklo.edu.mk

Весна (Антоска) Knights

Универзитет “Св. Климент Охридски” – Битола, Р.С. Македонија

0000-0003-1768-2231

vesna.knights@uklo.edu.mk

Апстракт

Овој труд ги прикажува резултатите од истражување на навиките на исхрана кај популација со дијабетес мелитус тип 2, спроведено од докторантот пред добивање на индивидуално нутритивно советување, како и последователна нутритивна и математичка анализа на препорачан режим на исхрана. Врз основа на клинички препорачана 16-лебна-единична диета од ЈЗУ Универзитетска клиника за ендокринологија и болести на метаболизмот, предложени се нутритивни корекции со цел подобрување на квалитативниот состав на мастите и јаглехидратите.

Диетата е структурирана во шест дневни оброци и обезбедува приближно 190 g јаглехидрати и околу 1600 kcal дневно. Дополнително, исхранбениот режим е формализиран како ---- нутритивен модел со јасно дефинирани ограничувања, што овозможува математичка интерпретација и оптимизација на внесот на макронутриенти. Резултатите укажуваат дека ваквиот пристап овозможува рамномерна распределба на јаглехидратите и претставува соодветна основа за нутритивно советување кај лица со дијабетес тип 2.

Клучни зборови: Моделирање, дијабетес мелитус, режим на исхрана.

1. Вовед

Дијабетес мелитус тип 2 претставува хронично метаболичко заболување кај кое начинот на исхрана има централна улога во контролата на гликемијата и превенцијата на компликации. Кај оваа популација, неправилните навики на исхрана и

неконтролираниот внес на јаглехидрати често се присутни пред започнување на организирано нутритивно советување (World Health Organization [WHO], 2020).

Еден од најчесто применуваните клинички пристапи за контрола на јаглехидратите е системот на лебни единици (ЛЕ), при што една лебна единица одговара на приближно 12 g сварливи јаглехидрати и овозможува практично планирање на оброците кај лица со дијабетес (American Diabetes Association [ADA], 2023). Рамномерната распределба на јаглехидратите во текот на денот е поврзана со подобра гликемиска контрола и намалени гликемиски флукуации (Evert et al., 2019).

Покрај нутритивниот аспект, во последните години сè поголемо значење добива примената на математички модели во нутриционизмот, кои овозможуваат формално претставување на исхраната како систем со ограничувања и целни функции (Ferguson et al., 2006; Knights et al., 2023).

Оттука, целта на овој труд е двојна:

(1) да се анализираат навиките на исхрана кај популација со дијабетес тип 2 пред нутритивно советување и

(2) да се прикаже математичко моделирање и оптимизација на клинички препорачан 16-лебно-единичен режим на исхрана како основа за структурирано и контролирано нутритивно планирање.

2. Преглед на литературата

Дијабетес мелитус тип 2 (T2DM) претставува едно од најраспространетите хронични метаболички заболувања на современото општество, при што исхраната има клучна улога во контролата на гликемијата, телесната маса и превенцијата на долгорочни компликации. Американското здружение за дијабетес (ADA) ги објавува *Standards of Care in Diabetes—2026*, кои претставуваат водечки, доказно-базирани клинички препораки за дијагностика, превенција и управување со дијабетес и преддијабетес кај деца, адолесценти и возрасни. Овие стандарди опфаќаат и стратегии за одложување на појавата на дијабетес тип 2, како и препораки за подобрување на здравствените исходи и намалување на коморбидитетите, особено дебелината (ADA, 2026).

Во контекст на нутритивната терапија, ADA нагласува дека не постои универзален „еден план за сите“, бидејќи нутритивните потреби варираат во зависност од возраста, телесната маса, степенот на физичка активност, коморбидитетите, културните навики и социоекономските услови на поединецот (Evert et al., 2019; Iizuka & Yabe, 2023). Како практична алатка за планирање оброци без сложени пресметки, ADA го препорачува *Diabetes Plate Method* (метод на чинија со дијаметар од 9 инчи), при што половина од чинијата се исполнува со нескробен зеленчук, една четвртина со посни извори на протеини и една четвртина со квалитетни јаглехидрати, што овозможува балансиран внес на макронутриенти и подобра гликемиска контрола (ADA, 2024).

Современата литература укажува дека ултра-преработената храна и честата употреба на вештачки засладувачи се значајни фактори поврзани со зголемен ризик од дијабетес тип 2, дебелина и нарушувања на метаболизмот (Srouf et al., 2019; Fiolet et al., 2018; Juul et al., 2022; Hall et al., 2020). Дополнително, некои студии укажуваат дека одредени засладувачи можат негативно да влијаат врз цревната микробиота и гликемиската регулација (Suez et al., 2014; Suez et al., 2022; WHO, 2023; Zhao et al., 2023).

Со оглед на тесната поврзаност помеѓу дебелината и T2DM, одржливото губење на телесната маса претставува составен дел од *medical nutrition therapy* (MNT). Клиничките препораки укажуваат дека почетна редукција од 5–10% од телесната маса може значително да ја подобри гликемиската контрола и метаболичките параметри, при што се препорачува енергетски дефицит од 500–750 kcal дневно. Ова резултира со планови за исхрана од приближно 1200–1500 kcal/ден за жени и 1500–1800 kcal/ден за мажи (Care et al., 2023).

Општиот научен консензус препорачува исхрана богата со нескробен зеленчук, мешунки, свежо овошје, интегрални житарки и млечни производи со ниска масленост, додека се ограничуваат рафинираните јаглехидрати, додадените шеќери, транс-мастите и високо преработената храна (Petroni et al., 2021). Редовниот внес на растителни влакна е поврзан со подобра регулација на гликемијата и понизок вкупен морталитет, при што препораките за лицата со T2DM изнесуваат најмалку 14 g влакна на 1000 kcal внесени, односно околу 25 g/ден за жени и 38 g/ден за мажи (Muscogiuri et al., 2022).

Препораките за протеински внес кај лица со дијабетес тип 2 генерално се усогласени со оние за општата популација и изнесуваат 1,0–1,2 g/kg телесна маса, или коригирана телесна маса кај лица со прекумерна тежина и дебелина. Кај пациенти со дијабетична нефропатија се препорачува ограничување на внесот на околу 0,8 g/kg, но не под оваа вредност (Barea et al., 2021; Brown et al., 2023). Дополнително, се нагласува значењето на изворот и квалитетот на протеините, со предност на протеините од растително потекло.

Покрај макронутриентите, недоволниот внес на одредени микронутриенти, како што се магнезиум, витамин D, хром, цинк и витамин B12, може негативно да влијае врз гликемиската регулација и управувањето со дијабетесот (Barbagallo et al., 2015; Pittas et al., 2007; Yin, 2015; Jayawardena et al., 2012). Иако рутинска суплементација не се препорачува, мерењето на витамин B12 е оправдано кај пациенти на долготрајна терапија со метформин (Iizuka & Yabe, 2023).

Истражувањата дополнително укажуваат дека распределбата и тајмингот на оброците имаат значајна улога во управувањето со T2DM. Редовното појадување, поголем внес на јаглехидрати за време на ручек, избегнување доцни и обилни вечери и контролиран внес на јаглехидрати во последниот оброк се поврзани со подобра гликемска стабилност (Pafili & Dimosthenopoulos, 2021).

И покрај бројните препораки, сè уште не постои консензус за „идеален“ нутритивен модел применлив за сите пациенти со дијабетес тип 2. Индивидуалниот пристап останува златен стандард, при што медитеранската исхрана, со умерен внес на јаглехидрати и масти, се издвојува како една од најперспективните

стратегии за долгорочно управување со T2DM. Препорачаниот состав вклучува 40–50% јаглехидрати, 15–25% протеини и 25–35% масти, со ограничување на заситените масти под 7% и доволен внес на влакна и микронутриенти (Minari et al., 2023).

3. Методи и материјали

3.1. Извор на нутритивниот план

Во овој труд, како основен истражувачки материјал е користен анкетен прашалник за навиките на исхрана, кој се применува кај пациенти со новоутврден дијабетес мелитус тип 2, при нивното прво јавување во болницата „Ферид Мурат“ во Гостивар. Прашалникот е наменет за пациенти со нарушен метаболизам на јаглехидратите и дијабетес мелитус и овозможува систематско прибирање на податоци за дневниот внес на храна, распределбата на оброците, видот на консумираните јаглехидрати, масти и протеини, како и за честотата на консумирање одредени групи намирници.

Анкетниот прашалник е спроведен при првата посета на пациентите на клиниката, пред започнување на организирано нутритивно советување. По спроведената анкета, на пациентите им е дадено иницијално индивидуално нутритивно советување од страна на докторантот – нутриционист, во согласност со клиничките препораки за управување со дијабетес тип 2.

Добиените податоци од анкетата се користени за:

- опис на почетните навики на исхрана кај испитуваната популација и
- понатамошна нутритивна и математичка анализа на препорачаниот клинички режим на исхрана.

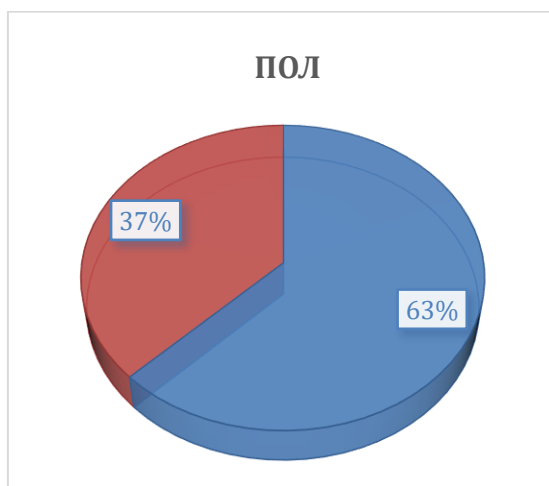
Анкетното истражување беше спроведено на вкупно 171 пациент со дијабетес мелитус тип 2, кои покажаа подготвеност да учествуваат и целосно ја пополнија анкетата. Истражувањето беше успешно реализирано и обезбеди релевантни податоци за анализирање на навиките на испитуваната популација.

Анкетниот прашалник содржеше 61 прашање, со кои беа опфатени клучни аспекти од секојдневниот живот на пациентите, вклучувајќи: начин на живот, исхрана и нутритивни навики, фреквенција и редовност на оброците, како и видот на терапијата што ја примаат за подобро управување со дијабетес тип 2. Во овој труд се презентираат селектирани прашања од анкетата, со цел да се добие јасна слика за демографските карактеристики и профилот на популацијата која се соочува со ова хронично и прогресивно заболување.

Во однос на половата структура на испитуваната популација, од вкупно 171 испитаник, 63% (n = 108) се жени, додека 37% (n = 63) се мажи, како што е прикажано на Слика 1. Женскиот пол е позастапен во примерокот, што е во согласност со наодите од повеќе епидемиолошки и клинички студии, според кои жените почесто учествуваат во

превентивни и дијагностички здравствени програми и покажуваат поголема подготвеност за вклучување во нутритивно советување и истражувања поврзани со управување со хронични заболувања, како што е дијабетес мелитус тип 2.

Овие демографски карактеристики обезбедуваат релевантна основа за понатамошна анализа на навиките во исхраната и за развој на прилагодени нутритивни и математички модели, земајќи ги предвид половите и возрасните специфичности на испитуваната популација.

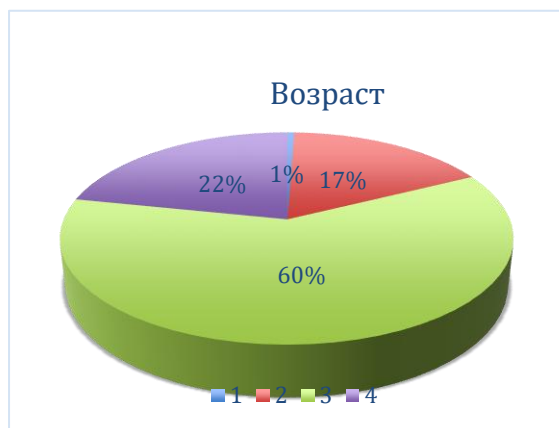


Слика 1. Полова распределба на испитаниците со дијабетес мелитус тип 2

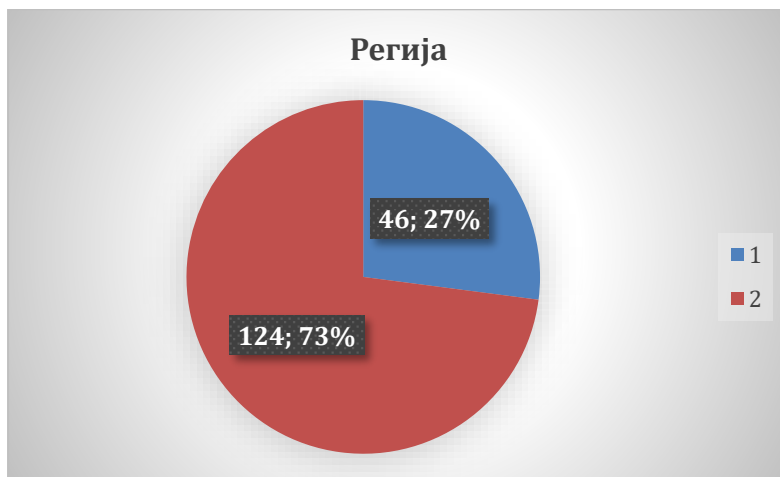
Во однос на возрасната структура, пациентите беа на возраст од 29 до над 80 години. Испитаниците беа групирани во четири возрасни категории:

- 18–30 години, со 1% учество,
- 31–50 години, со 17% учество,
- 51–70 години, со 60% учество,
- над 70 години, со 22% учество.

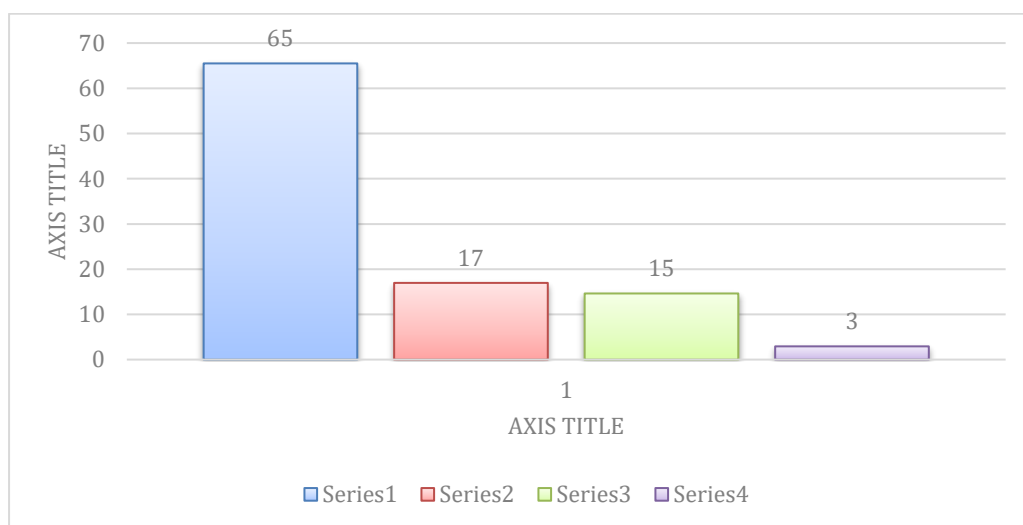
Како што е прикажано на Слика 2, најголемиот дел од испитаниците припаѓа на возрасната група 51–70 години, што е во согласност со епидемиолошките податоци за појавата и преваленцата на дијабетес тип 2.



Слика 2. Возрасна распределба на испитаниците со дијабетес мелитус тип 2

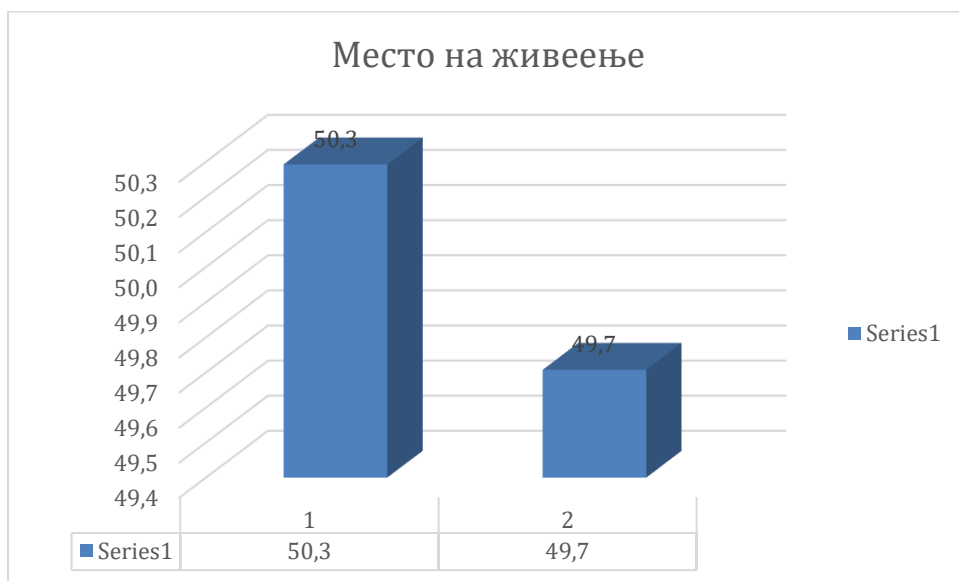


Најголем дел од испитаниците имаат средно образование (65 испитаници), по што следуваат испитаници со високо образование (17) и основно образование (15), додека најмал дел имаат постдипломско образование (3). Образовната структура е важен фактор при анализата на нутритивните навики и здравствената писменост.



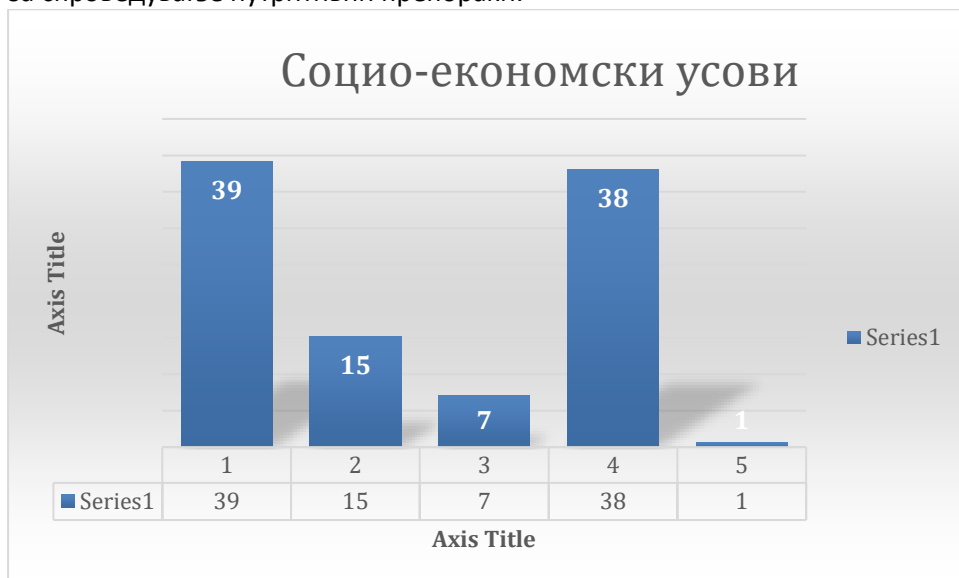
Слика 4. Образовна структура на испитаниците

Испитаниците се речиси рамномерно распределени според местото на живеење, при што 50,3% живеат во урбана средина, а 49,7% во рурална средина. Ова овозможува анализа на нутритивните навики без изразена урбано-рурална пристрасност.



Слика 5. Место на живеење на испитаниците

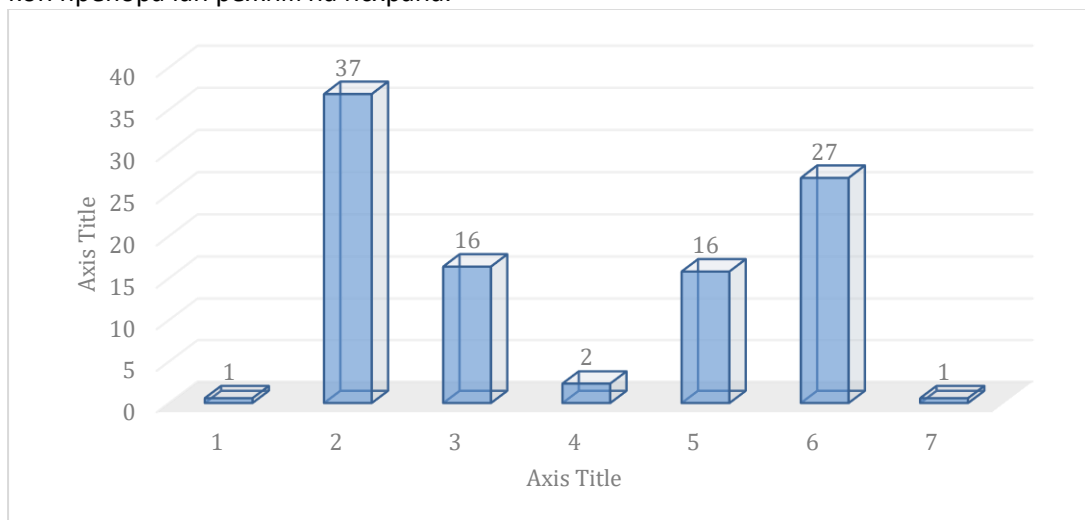
Најголем дел од испитаниците се распоредени во средните социо-економски категории, додека помал број припаѓаат на најниските и највисоките категории. Социо-економскиот статус има значајно влијание врз достапноста на храна, изборот на намирници и можностите за спроведување нутритивни препораки.



Слика 6. Социо-економски услови на испитаниците

Резултатите покажуваат дека најголем дел од испитаниците се вработени или пензионери, додека помал дел се невработени или припаѓаат на други категории. Работниот

статус може да влијае врз редовноста на оброците, физичката активност и придржувањето кон препорачан режим на исхрана.



Слика 7. Работен статус на испитаниците

Од вкупниот примерок, 68% од испитаниците изјавиле дека имаат физичка активност, додека 32% не практикуваат редовна физичка активност. Овие податоци укажуваат на потреба од дополнително охрабрување на физичката активност како составен дел од управувањето со дијабетес тип 2.



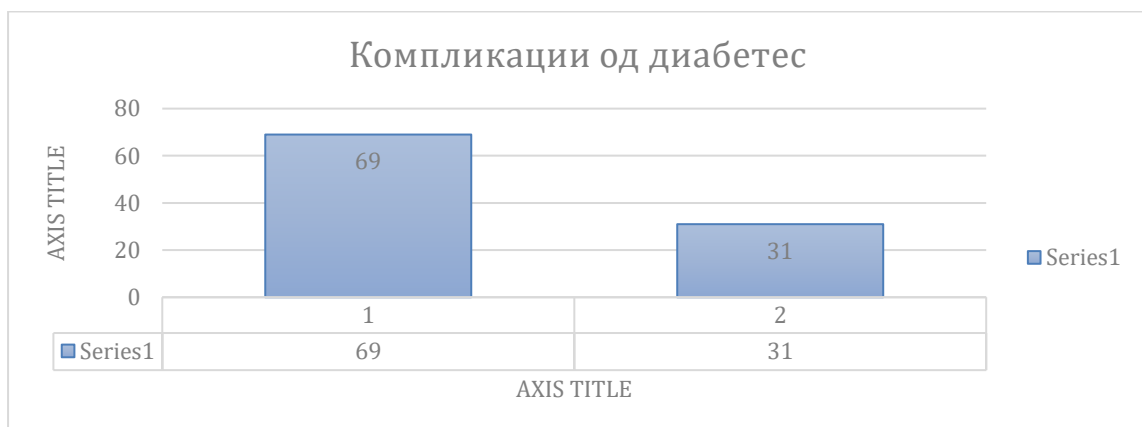
Слика 8. Физичка активност кај испитаниците

Најголем дел од испитаниците пријавиле дека **не пушат**, додека помал дел се активни или поранешни пушачи. Навиката на пушење претставува значаен ризик-фактор за кардиоваскуларни компликации кај лица со дијабетес тип 2.



Слика 9. Пушење кај испитаниците

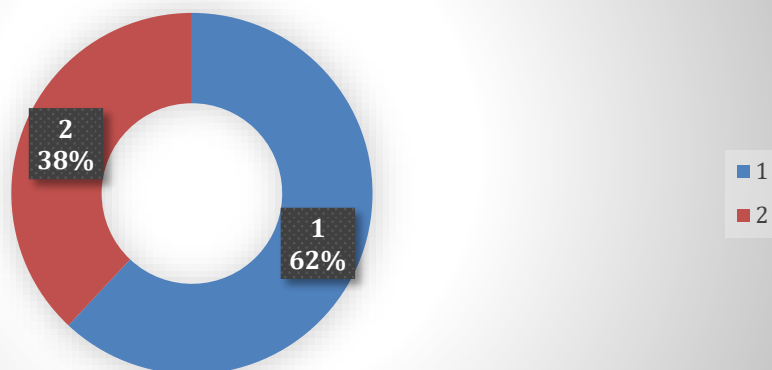
Резултатите покажуваат дека 69% од испитаниците имаат дијагностицирани компликации, додека 31% немаат пријавено компликации. Ова укажува на висок товар на хронични компликации во испитуваната популација.



Слика 10. Присуство на компликации од дијабетес

Повеќето испитаници (62%) изјавиле дека имаат редовна фреквенција на оброци, додека 38% имаат нерегуларна фреквенција. Овие податоци се особено значајни за понатамошното нутритивно и математичко моделирање на режимот на исхрана.

Фреккренција на оброци



Слика 11. Фреквенција на оброци кај испитаниците

3.2. Опис на оригиналната клиничка диета

Оригиналниот клинички препорачан план вклучува класични каде стандарден дневен исхранбен план препорачан од Клиничката диета е дефинирана како 16-лебна-единична диета, со вкупна енергетска вредност од 6,7 MJ (≈ 1600 kcal) дневно и следниот макронутритивен состав:

Извори на масти и јаглехидрати, како што се маргарин, путер, павлака, мајонез или кајмак во појадокот, како и можност за замена на оброци со мармалад како извор на брзи јаглехидрати. Овошјето е дозволено како контролирана порција во рамки на системот на лебни единици, додека овошниот сок е вклучен како посебна лебна единица во ужините.

16 ле ДИЕТА 6,7 MJ = 1600 Kcal

(190 гр. јагленихидрати, 90 гр. белковини, 50 гр. масти)

Оригинална	Заменети нутритивни препораки (докторант)
ПОЈАДОК 3 лебни единици	ПОЈАДОК 3 лебни единици
2 × парче леб (30 гр.)	2 × парче леб (30 гр.)
Млеко, јогурт или кисело млеко 250 мл.	Млеко, јогурт, кефир или кисело млеко 250 мл.
Маргарин (путер, павлака, мајонез или кајмак) – 6 гр.;	Намаз (хумус, сенф, јаткасти плодови....) – 10 гр.;
Посно сирење 50 гр.	Посно сирење (изварка/урда, младо не солено сирење) 50 гр.
или замени: Мармалад – 25 гр.	или замени: Мед (повремено) – 15 гр. (една

УЖИНА 2 лебни единици Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ Овошен сок – 1 ЛЕ РУЧЕК 5 лебни единици Супа или чорба од зеленчук 250–300 мл. 2 × парче леб (30 гр.); Месо (живинско, говедско, јагнешко, дивеч) – 100 гр. или риба – 100 гр. Варен грашок 250 гр. или варен грав 100 гр. – 2 ЛЕ Зеленчук А по желба Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ УЖИНА 1 лебна единица Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ ВЕЧЕРА 3 лебни единици 2 × парче леб (30 гр.) Млеко, јогурт или кисело млеко 250 мл. Месо, риба или сирење како за ручек УЖИНА ПРЕД СПИЕЊЕ 1 лебна единица Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ	лажица), или свежо овошје(по можност јаболко, круша, пола портокал, две мали мандарини, пола цитрон или бобесто овошје) УЖИНА 2 лебни единици Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ Овошен сок – 1 ЛЕ РУЧЕК 5 лебни единици Супа или чорба од зеленчук 250–300 мл. 2 × парче леб (30 гр.); Месо (живинско, говедско, јагнешко, дивеч) – 100 гр. или риба – 100 гр. Варен грашок 250 гр. или варен грав 100 гр. – 2 ЛЕ Зеленчук А по желба Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ УЖИНА 1 лебна единица Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ ВЕЧЕРА 3 лебни единици 2 × парче леб (30 гр.) Млеко, јогурт, кефир или кисело млеко 250 мл. Месо, риба или младо не солено сирење како за ручек УЖИНА ПРЕД СПИЕЊЕ 1 лебна единица Сезонско овошје по избор – 1 ЛЕ (по можност јаболко, круша, пола портокал, две мали мандарини, пола цитрон или бобесто овошје)
--	---

3.3. Корекции и модификации на диетата

Со цел унапредување на нутритивниот квалитет на диетата и нејзино усогласување со современите нутриционистички препораки, во овој труд се применети корекции изработени од докторантот, при што е задржана оригиналната структура на оброци и бројот на лебни единици, но е извршена замена на одредени намирници.

Клучните корекции се следните:

- **Замена на заситени масти**
Маргаринот, путерот и сличните производи се заменети со растителни намази (хумус, сенф, намази од јаткасти плодови), со што се намалува внесот на заситени масти и се зголемува внесот на незаситени масни киселини.
- **Замена на рафинирани шеќери**
Мармаладот и сличните извори на концентрирани шеќери се заменети со свежо овошје или, повремено, со мед во строго контролирана количина, со што се обезбедува подобар гликемски одговор и зголемен внес на растителни влакна.
- **Проширување на изборот на ферментирани млечни производи**
Во коригираната диета е вклучен и кефир, покрај јогурт и кисело млеко, поради неговиот потенцијален позитивен ефект врз цревната микробиота.
- **Прецизирање на овошните порции**
Овошјето е јасно дефинирано по вид и количина (јаболко, круша, портокал, мандарини, бобесто овошје), секогаш во рамки на дозволените лебни единици.

3.4. Метод на нутритивна пресметка

Нутритивната анализа е извршена со користење на системот на **лебни единици**, при што е применето стандардното правило:

1 ЛЕ $\approx$ 12 g јаглехидрати

Вкупниот дневен внес на јаглехидрати е пресметан како збир на лебните единици по оброци, додека вкупната енергетска вредност е добиена со примена на стандардните калориски коефициенти:

$$E = 4 \cdot CHO + 4 \cdot P + 9 \cdot F$$

каде што CHO, P и F претставуваат дневен внес на јаглехидрати, протеини и масти, соодветно.

ЛЕ (лебна единица) се однесува САМО на јаглехидрати, НЕ на калории.

$$\begin{aligned} 1 \text{ ЛЕ} &= 12 \text{ g јаглехидрати (CHO)} \\ 16 \times 12 \text{ g} &= 192 \text{ CHO/den} \\ 1 \text{g CHO} &= 4 \text{ kcal} \\ 192 \times 4 &= 768 \text{ kcal (офаат САМО од јаглехидрати)} \end{aligned}$$

Така да вкупниот состав на диета се состои

- **Јаглехидрати:** $\approx$ 192 g/ден

- **протеини:** ≈ 90 g/ден $\rightarrow 90 \times 4 = 360$ kcal
- **Маси:** ≈ 50 g/ден $\rightarrow 50 \times 9 = 450$ kcal

Вкупно калории $768 + 360 + 450 = 1578$ kcal ≈ 1600 kcal

Диетата е структурирана во **шест дневни оброци** (појадок, две ужини, ручек, вечера и ужина пред спиење), со прецизно дефиниран број на лебни единици (ЛЕ) по оброк, со цел постигнување стабилна гликемиска контрола.

Табела 1 Диета 16 ЛЕ (≈ 1600 kcal) — конкретна дневна табела

Оброк	Состав	ЛЕ	СНО (g)	P (g)	F (g)	kcal
Појадок	2×30 g интегрален леб; јогурт/кефир 250 ml (1.5%); посно сирење/урда 50 g; намаз од јаткасти плодови 10 g	3	36	20	10	314
Ужина 1	Јаболко 120 g (1 ЛЕ) + свеж портокалов сок 120 ml (1 ЛЕ)	2	24	5	2	134
Ручек	Супа 250–300 ml; 2×30 g интегрален леб; пилешко 100 g; грашок варен 250 g (2 ЛЕ); круша 130 g (1 ЛЕ) + бобесто овошје 150 g (1 ЛЕ)	6	72	35	18	590
Ужина 2	2 мали мандарини (≈ 150 g) (1 ЛЕ)	1	12	3	1	69
Вечера	2×30 g интегрален леб; јогурт/кефир 250 ml (1.5%); пилешко 100 g	3	36	24	16	384
Пред спиење	Јаболко 100 g (1 ЛЕ)	1	12	3	3	87
ВКУПНО	—	16	192 g	90 g	50 g	1578 $\approx$ 1600

3.5. Математички модел

Презентираната диета е формализирана како 16-лебно-единичен нутритивен модел, при што секоја лебна единица претставува приближно 12 g сварливи јаглехидрати. Моделот е дефиниран со следното основно ограничување:

$$LE_i \text{ -- број на лебни единици во оброк } i$$

$$CHO_i = 12LE_i \text{ -- јаглехидрати во оброк } i(g)$$

$$i = 1, \dots, 6 \text{ -- број на дневни оброци}$$

Ограничување за јаглехидрати

$$\sum_{i=1}^6 LE_i = 16$$

Од каде следува дневниот внес на јаглехидрати

$$\sum_{i=1}^6 CHO_i = 16 \times 12 = 192 \text{ g/ден}$$

Функција за вкупно калории

Вкупната дневна вредност се дефинира со

$$E = 4 \cdot CHO + 4 \cdot P + 9 \cdot F$$

CHO –вкупен дневен внес на јаглехидрати (g)

P –вкупен дневен внес на протеини (g)

F –вкупен дневен внес на масти (g)

Реални вредности (16ЛЕ диета)

Сео користење на препораките

$CHO \approx 192$ g/ден

$P \approx 90$ g/ден

$F \approx 50$ g/ден

се добива

$$E = 4 \cdot 192 + 4 \cdot 90 + 9 \cdot 50 = 768 + 360 + 450 = 1600 \text{ kcal/ден}$$

Модел за овошје

Нека f_j -овошна порција дефинирана како 1 лебна единица

$$j = 1, \dots, 6$$

$$\sum_{j=1}^6 f_j = 6 \text{ ЛЕ}$$

Следува внесот на јаглехидрати од овошје изнесува

$$CHO_{fruit} = 6 \cdot 12 = 72 \text{ g}$$

Целна функција (пример)

Со цел постигнување стабилна гликемиска контрола, моделот може да се формулира со цел **минимизација на варијацијата на јаглехидратите меѓу оброците**:

$$\min \sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2$$

каде што

$$\bar{x} = \frac{\text{вкупно ЛЕ}}{\text{број на оброци}} = \frac{16}{6} \approx 2,67 \text{ ЛЕ по оброк}$$

Вредноста $\bar{x} = 16/6$ претставува референтна просечна распределба на јаглехидратите по оброк и служи како математичка основа за минимизација на варијациите во внесот на јаглехидрати, а не како реална препорака за секој поединечен оброк.

$$\bar{x} = \frac{16}{6}$$

Оваа целна функција обезбедува рамномерна распределба на јаглехидратите и го намалува ризикот од гликемиски пикови.

4. Резултати и дискусија

4.1. Навики на исхрана кај испитуваната популација пред нутритивно советување

Анализата на навиките на исхрана кај испитуваната популација со дијабетес мелитус тип 2, спроведена пред воведување на клинички препорачан нутритивен режим, укажува на изразена неструктурираност и недоволна контрола на внесот на јаглехидрати. Кај поголемиот дел од испитаниците е забележана нерамномерна распределба на оброците во текот на денот, со прескокнување на ужини и зголемен внес на јаглехидрати во поединечни оброци, најчесто во вечерните часови.

Во однос на изворите на јаглехидрати, доминира употребата на леб и пекарски производи без јасно дефинирани порции, додека внесот на овошје најчесто не е контролиран според принципите на лебните единици. Забележано е и присуство на овошни сокови како чест избор, без свесност за нивниот придонес кон вкупниот јаглехидратен внес. Овие навики укажуваат на зголемен ризик од постпрандијални гликемиски флукуации.

Дополнително, кај дел од испитаниците е евидентирана зголемена употреба на заситени масти (путер, маргарин, павлака), како и недоволен внес на ферментирани млечни производи и растителни влакна. Ваквиот модел на исхрана е во согласност со забележаните покачени вредности на ВМІ и HbA1c и укажува на потреба од структуриран и контролиран нутритивен пристап.

4.2. Клиничката диета како референтен модел во однос на постоечките навики

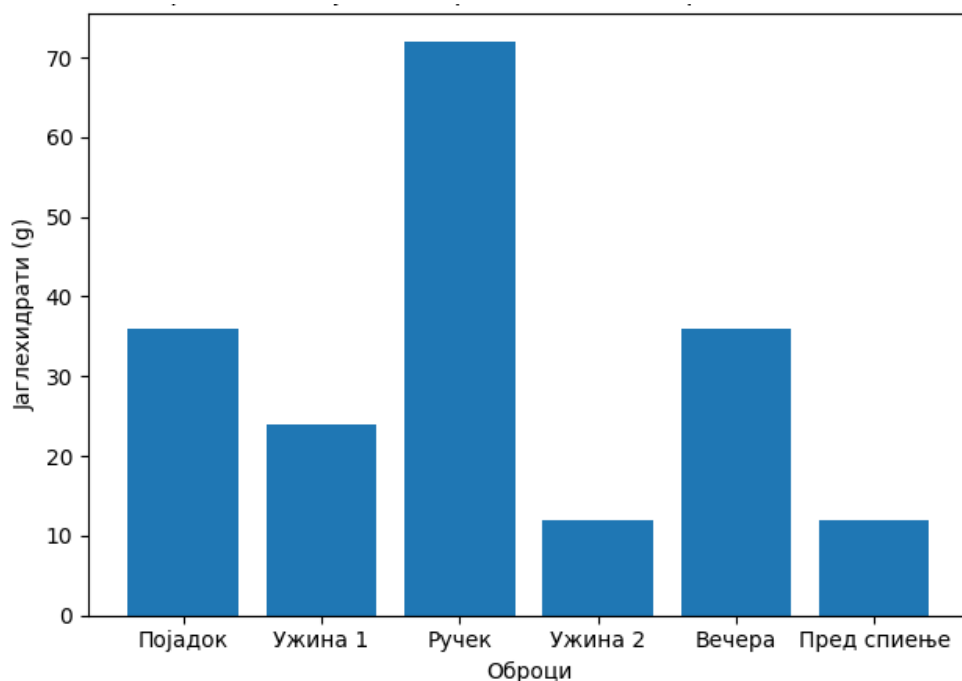
Во контекст на идентификуваните навики, клинички препорачаниот 16-лебно-единичен режим на исхрана е користен како референтен нутритивен модел за споредба и математичка формализација. За разлика од спонтаните навики на испитаниците, овој модел обезбедува прецизна распределба на јаглехидратите во шест дневни оброци, јасна дефиниција на овошните порции и контролиран внес на масти.

Ваквата споредба помеѓу реалните навики и структурираната диета ја нагласува улогата на нутритивното планирање како неопходен елемент во управувањето со дијабетес тип 2 и претставува основа за понатамошна математичка оптимизација на режимот на исхрана.

4.2.1. Распределба на јаглехидрати по оброци

Од нутритивната анализа на 16-лебно-единичната диета, со фокус на распределбата на јаглехидратите (СНО) по дневни оброци на слика1 е преставен вкупниот дневен внес на јаглехидрати изнесува **192 g**, што одговара на 16 лебни **единици**, при што една лебна единица е дефинирана како 12 g сварливи јаглехидрати.

Со цел визуелно прикажување на распределбата на јаглехидратите во текот на денот, изработен е бар-график кој ја прикажува количината на внесени јаглехидрати по секој од шесте дневни оброци.



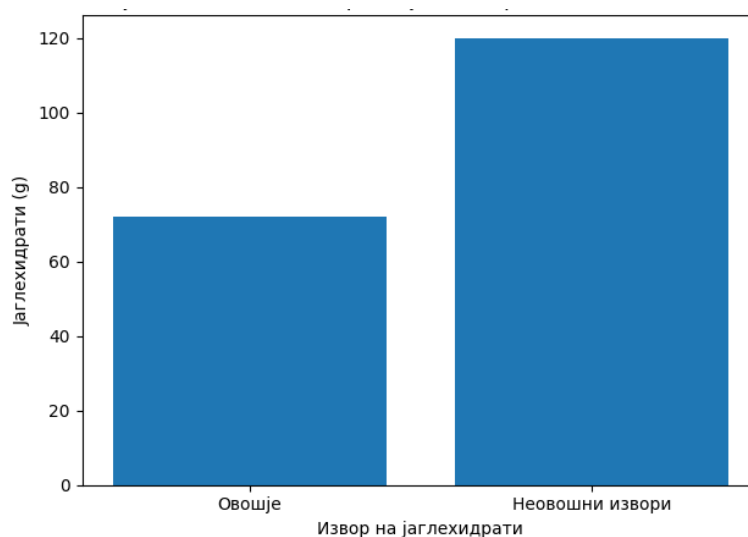
Слика 1. Распределба на јаглехидрати (СНО) по оброци кај 16-лебно-единична диета.

Од прикажаните резултати може да се забележи дека најголемиот дел од јаглехидратите се внесува со ручекот (72 g, 37.5% од дневниот внес), додека појадокот и вечерата обезбедуваат по 36 g јаглехидрати (по 18.8%). Помалите ужини содржат по 12–24 g јаглехидрати, што овозможува рамномерна дистрибуција на јаглехидратите во текот на денот.

4.2.2. Споредба на овошни и неовошни извори на јаглехидрати

Понатамошната анализа се однесува на распределбата на јаглехидратите според нивниот извор, односно споредба помеѓу овошни и неовошни извори на јаглехидрати во рамки на 16-лебно-единичната диета. Овошните извори се дефинирани како свежо овошје и свеж овошен сок, додека неовошните извори вклучуваат леб, мешунки и млечни производи.

За таа цел е изработен бар-график кој го прикажува вкупниот придонес на овошните и неовошните извори во вкупниот дневен внес на јаглехидрати.



Слика 2. Споредба на овошни и неовошни извори на јаглехидрати (CHO) кај 16-лебно-единична диета.

Резултатите покажуваат дека овошните извори придонесуваат со 72 g јаглехидрати, што претставува 37.5% од вкупниот дневен внес, додека неовошните извори обезбедуваат 120 g јаглехидрати (62.5%). Ваквата распределба укажува дека овошјето е застапено во контролирана количина и е интегрирано во рамки на вкупниот јаглехидратен биланс.

5. Заклучок

Овој труд обезбеди јасен увид во навиките на исхрана кај популација со дијабетес мелитус тип 2 пред започнување на организирано нутритивно советување, при што резултатите покажаа дека станува збор за демографски хетерогена група со изразена потреба од структуриран пристап кон исхраната. Како референтен модел беше анализирана клинички препорачаната 16-лебно-единична диета (≈ 1600 kcal), која овозможува прецизна пресметка и рамномерна дневна распределба на јаглехидратите (≈ 192 g/ден) во шест оброци.

Применетите нутритивни корекции, без промена на бројот на лебни единици и структурата на оброците, го подобрија квалитативниот состав на мастите и јаглехидратите преку замена на заситени масти и рафинирани шеќери со поповолни алтернативи (растителни намази, контролирани овошни порции). Дополнително, формализацијата на режимот како нутритивен модел со ограничувања и калориска функција овозможи математичка интерпретација и поставување целна функција за минимизација на варијациите во внесот на јаглехидрати меѓу оброците, што е важно за намалување на гликемиски пикови.

Интеграцијата на клинички препорачан нутритивен план со нутритивни корекции и математичко моделирање претставува применлив и систематски пристап за

контролирано планирање на исхраната кај лица со дијабетес тип 2 и создава основа за понатамошна оптимизација и индивидуализација според потребите на пациентите.

Користена литература

American Diabetes Association. (2023). *Standards of care in diabetes—2023*. *Diabetes Care*, 46(Suppl. 1), S1–S291. <https://doi.org/10.2337/dc23-SINT> Accessed January 2026.

American Diabetes Association. (2026). *American Diabetes Association releases Standards of Care in Diabetes—2026* (Press release, December 8, 2025). <https://diabetes.org/newsroom/press-releases/american-diabetes-association-releases-standards-care-diabetes-2026> Accessed January 2026.

Barbagallo, M., & Dominguez, L. J. (2015). Magnesium and type 2 diabetes. *World Journal of Diabetes*, 6(10), 1152–1157. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i10.1152>

Barrea, L., Vetrani, C., Caprio, M., El Ghoch, M., Frias-Toral, E., Mehta, R. J., ... Pazderska, A. (2021). Nutritional management of type 2 diabetes in subjects with obesity: An international guideline for clinical practice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, 2873–2885. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1980766>

Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Hilliard, M. E., Isaacs, D., Johnson, E. L., ... Lyons, S. K. (2023). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of care in diabetes—2023. *Diabetes Care*, 46, S68–S96. <https://doi.org/10.2337/dc23-S005>

Care, D., Suppl. S. S., Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Hilliard, M. E., ... Khunti, K. (2023). Obesity and weight management for the prevention and treatment of type 2 diabetes: Standards of care in diabetes—2023. *Diabetes Care*, 46, S128–S139. <https://doi.org/10.2337/dc23-S008>

Churuangasuk, C., Hall, J., Reynolds, A., Griffin, S. J., Combet, E., & Lean, M. E. J. (2022). Diets for weight management in adults with type 2 diabetes: An umbrella review. *Diabetologia*, 65(1), 14–36. <https://doi.org/10.1007/s00125-021-05577-2>

Eckel, R. H., Jakicic, J. M., Ard, J. D., de Jesus, J. M., Houston Miller, N., Hubbard, V. S., ... Loria, C. M. (2014). 2013 AHA/ACC guideline on lifestyle management to reduce cardiovascular risk. *Circulation*, 129(Suppl. 2), S76–S99.

Evert, A. B., Dennison, M., Gardner, C. D., Garvey, W. T., Lau, K. H. K., MacLeod, J., ... Uelmen, S. (2019). Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: A consensus report. *Diabetes Care*, 42(5), 731–754. <https://doi.org/10.2337/dci19-0014> Accessed January 2026.

Ferguson, E. L., Darmon, N., Fahmida, U., Fitriyanti, S., Harper, T. B., & Premachandra, I. M. (2006). Design of optimal food-based complementary feeding

recommendations using linear programming. *The Journal of Nutrition*, 136(9), 2399–2404. <https://doi.org/10.1093/jn/136.9.2399>

Fiolet, T., Srouf, B., Sellem, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., ... Hercberg, S. (2018). Consumption of ultra-processed foods and cancer risk. *BMJ*, 360, k322. <https://doi.org/10.1136/bmj.k322>

Guasch-Ferré, M., Becerra-Tomás, N., Ruiz-Canela, M., Corella, D., Schröder, H., Estruch, R., ... Ros, E. (2017). Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes mellitus. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105, 723–735.

Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Cai, H., Cassimatis, T., Chen, K. Y., ... Courville, A. (2019). Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain. *Cell Metabolism*, 30, 67–77.e3.

Iizuka, K. (2022). Is the use of artificial sweeteners beneficial for patients with diabetes mellitus? *Nutrients*, 14, 4446.

Iizuka, K., & Yabe, D. (2023). Dietary and nutritional guidelines for diabetes. *Nutrients*, 15, 4314. <https://doi.org/10.3390/nu15204314>

Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 116(5), 1240–1250.

Jayawardena, R., Ranasinghe, P., Galappaththy, P., Malkanthi, R., Constantine, G., & Katulanda, P. (2012). Effects of zinc supplementation on diabetes mellitus. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 4, 13.

Juul, F., Parekh, N., Martinez-Steele, E., Monteiro, C. A., & Chang, V. W. (2022). Ultra-processed food consumption among US adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 115, 211–221.

Knights, V. A., Kolak, M., Markovikj, G., & Gajdoš Kljusurić, J. (2023). Modeling and optimization with artificial intelligence in nutrition. *Applied Sciences*, 13(13), 7835. <https://doi.org/10.3390/app13137835>

Knights, V., Blazevska, T., Markovic, G., & Gajdoš Kljusurić, J. (2024a). Mathematical analysis of statistical design of experiment and machine learning methods in identifying factors influencing obesity. *Medical Research Archives*, 12(9). <https://doi.org/10.18103/mra.v12i9.5790>

Knights, V., & Gavriloska, E. (2024). Machine learning techniques for modelling and predicting the influence of kefir on kidney function. *Medical Research Archives*, 12(7). <https://doi.org/10.18103/mra.v12i7.5631>

Knights, V., & Millaku, J. (2023). Three-factor experimental design as a tool in applied statistics. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 8(1), 46–49.

Knights, V., & Prchkovska, M. (2024). From equations to predictions: Understanding the mathematics of multiple linear regression. *Journal of Mathematical & Computer Applications*.

Li, X., Shi, Y., Wei, D., Ni, W., Zhu, N., & Yan, X. (2023). High dietary fiber intervention in type 2 diabetes. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1283626.

Markovikj, G., & Knights, V. (2022). Model of optimization of sustainable diet indicators. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 39, 169–175.

- Markovikj, G., Knights, V., & Gajdoš Kljusurić, J. (2023). Ketogenic diet and weight reduction with progress prediction. *Nutrients*, 15(4), 927.
- Marume, A., Chidoko, E., & Chirenda, J. (2025). Dietary interventions and glycaemic control in type 2 diabetes. *Journal of Public Health in Africa*, 16(1).
- Marx, N., Federici, M., Schütt, K., Müller-Wieland, D., Ajjan, R. A., Antunes, M. J., et al. (2023). 2023 ESC guidelines for cardiovascular disease in diabetes. *European Heart Journal*, 44, 4043–4140.
- Muscogiuri, G., Barrea, L., Caprio, M., Ceriani, F., Chavez, A. O., El Ghoch, M., et al. (2022). Nutritional guidelines for insulin resistance. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 6947–6960.
- Pafili, Z., & Dimosthenopoulos, C. (2021). Novel trends in nutritional management of glycemia in T2DM. *Hormones*, 20, 589–601.
- Petroni, M. L., Brodosi, L., Marchignoli, F., Sasdelli, A. S., Caraceni, P., Marchesini, G., & Ravaioli, F. (2021). Nutrition in patients with type 2 diabetes. *Nutrients*, 13, 2748.
- Pittas, A. G., Lau, J., Hu, F. B., & Dawson-Hughes, B. (2007). Vitamin D and calcium in type 2 diabetes. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92(6), 2017–2029.
- Salazar, J., Angarita, L., Morillo, V., Navarro, C., Martínez, M. S., Chacín, M., et al. (2020). Microbiota and diabetes mellitus. *Nutrients*, 12, 3039.
- Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*, 3(4), 506–516.
- Srour, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Andrianasolo, R. M., et al. (2019). Ultra-processed food intake and cardiovascular disease. *BMJ*, 365, l1451.
- Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaïss, C. A., Maza, O., et al. (2014). Artificial sweeteners and glucose intolerance. *Nature*, 514, 181–186.
- Suez, J., Cohen, Y., Valdés-Mas, R., Mor, U., Dori-Bachash, M., Federici, S., et al. (2022). Personalized microbiome-driven effects of sweeteners. *Cell*, 185, 3307–3328.e19.
- World Health Organization. (2020). *Healthy diet: Key facts*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> Accessed January 2026.
- World Health Organization. (2023). *Use of non-sugar sweeteners: WHO guideline*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073616>
- Yin, R. V., & Phung, O. J. (2015). Chromium supplementation in diabetes. *Nutrition Journal*, 14, 14.
- Zhao, L., Zhang, X., Coday, M., Garcia, D. O., Li, X., Mossavar-Rahmani, Y., et al. (2023). Sugar-sweetened beverages and liver disease. *JAMA*, 330, 537–546.