

GRADU AMAIERAKO LANA

# NUTRIZIOA ESPAZIOAN

FARMAZIAKO GRADUA

EHU/UPV

2021-2022 IKASTURTEA

**EGILEA:** JULENE SANCHEZ IBARROLA

**ZUZENDARIA:** BITTOR RODRÍGUEZ RIVERA

## AURKIBIDEA

1. LABURPENA.....	3
2. SARRERA .....	4
3. HELBURUAK.....	4
4. GARAPENA.....	5
4.1 METODOLOGIA .....	5
4.2 ESPAZIORAKO JANARIAREN BILAKAERA.....	5
4.3 ESPAZIO-JANARI MOTAK.....	8
4.4 ESPAZIORAKO ELIKAGAIEN ONTZIRATZEA .....	11
4.5 ELIKADURARAKO ERRONKA TEKNOLOGIKO ETA NUTRIZIONALAK .....	13
4.5.1 HEZUR GALTZEA.....	15
4.5.2 KALTZIOA .....	16
4.5.3 MUSKULUAK ETA HEZURRAK .....	17
4.5.4 ALDAKETA IMMUNOLOGIKOAK.....	19
4.5.5 HORMONA ALDAKETAK .....	20
4.5.6 URDAIL-HESTEETAKO FUNTZIOA .....	20
4.5.7 ESTRES OXIDATIBOA .....	21
4.5.8 NUTRIZIOAREN EGINKIZUN PSIKOSOZIALA.....	21
5. ONDORIOAK.....	22
6. BIBLIOGRAFIA.....	23

## 1. LABURPENA

Espaziorako elikagaiak zeregin garrantzitsua dute misio espazialetan. Nutrizio-sistemak asko egin du aurrera teknologia berriekin, eta elikagaiak soilik energia-iturri izatetik organoleptikoki atseginak izatera igaro dira. Hala ere, zientziak aurrera egiten jarraitu behar du iraupen luzeko hegaldi espazialak egin ahal izateko. Hori dela eta, elikagaiak gutxienez 3-5 urtez mantendu behar dira jangarri.

GrAL honen helburua tripulazio espazialen elikadura aztertzea da berrikuspen bibliografiko baten bidez, elikadura-sistemak programa espazial desberdinetan izan duen bilakaera kontuan hartuta. Era berean, elikagaien sailkapena eta nola ontziratzen diren aztertuko da. Halaber, gaur egun nutrizioari dagokionez espazioan dauden erronkak deskribatuko dira, hala erronka teknologikoak nola nutrizionalak ere.

Lehenengo programa espazialetan elikadura aztertzen hasi zen, baina bidaiak iraupen laburra zutenek, elikagaien beharrak ez zuen arazo larririk suposatzen. Hasieran janaria astronautei beharrezko mantenugaiak emateko moduan prestatzen zen, masa eta pisua mugatuz. Ezaugarri organoleptikoek ez zuten garrantzirik, eta horrek tripulazioak gogorik gabe jatea, edo okerrago, ez jatea eragiten zuen. Janaria taldeetan sailkatzen da ekoizpen moduaren arabera. Elikagaiak ontziratzeak ere zeregin garrantzitsua du; izan ere, elikagaiak babestu behar ditu degradatuak ez izateko. Elikadura-sistemak oinarrizko irizpide batzuk izan behar ditu, hala nola segurtasuna eta fidagarritasuna. Gainera, elikagai bakoitzak beharrezko mantenugai guztiak eman behar ditu osasun-arazoak saihesteko, kaltzio falta, besteak beste.

Ondorioz, elikadurarako espazio-teknologiak bilakaera handia izan du azken urteotan. Elikagaiak espaziora modu seguruan garraiatzea ahalbidetu du, bertan kontsumitu ahal izateko. Horretarako, ontziratze modu ugari daude eta horrek menuen aniztasuna baimentzen du. Azkenik, mikrograbitateak astronauten osasun egoeran eragiten du, eta horrek ezinbestekoa bihurtu egiten du nutrizio-sistema egoki baten beharra, eta behar izatekotan, mantenugai zehatzen administrazio farmakologikoa.

## **2. SARRERA**

Espaziorako elikagaiak garrantzi handia izan dute misio espazialetan, energia- eta mantenugai-iturri bakarra baitira. Hasiera batean, ezaugarri nutritibo eta energetikoak soilik hartzen ziren kontuan, baina gaur egun ezaugarri organoleptikoei eta psikologikoei ematen zaie lehentasuna, astronauten nutrizio-egoera hobea lortzen laguntzen baitute, gogo handiagoekin kontsumitzen dituztelako elikagaiak.

Azken hamarkadetan espazioan erabiltzen diren elikadura sistemak nabarmen aldatu diren arren, aurrerapenak ez dituzte bidaia luzeetako behar nutrizionalak asetzen. Ikerketen arabera, iraupen luzeko misio baterako elikadura sistema batek onargarritasun organoleptikoa, nutrizio-eraginkortasuna eta segurtasuna mantendu behar ditu 3-5 urtez, hau da, bideragarriak izan behar dira denbora horren barruan (1).

Gainera, elikagai-sistemaren egungo masa eta horren ondoriozko hondakinak nabarmen murriztu behar dira, proposatutako etorkizuneko ibilgailu espazialen bolumen eta karga erabilgarriaren mugetara egokitzeko. Elikagai-sistema desegoki batek misioaren arrakasta zaildu edota tripulazioaren errendimendua jaitsi dezake. Aeronautikaren eta Espazioaren Administrazio Nazionaleko (NASA) Elikagaien Teknologia Aurreratuko (AFT) ikertzaileek kontuan hartzen dituzte identifikatutako kezkak, hala ere, ikerketa kontu handiz planifikatuta badago ere, hutsune teknologiko batzuk daude oraindik (2).

Zientziaren eta teknologiaren garapenarekin, espaziorako elikagaien kantitatea eta kalitatea azkar hobetu dira. Desberdintasun morfologikoez gain, hegaldi espazialen dietak Lurraren antzekoak dira. Asko dira sistema espaziala aldatzen lagundu duten faktoreak, hala nola mikrograbitate ingurunekeo prozesu fisiologikoen azterketa, prozesatzeko teknologiaren eskuragarritasuna eta eskifaiaren gogobetetzea.

## **3. HELBURUAK**

GrAL honen helburua honakoa izango da: espaziora bidaiatzen duten tripulazio espazialen elikadurari buruzko informazioa lortzea eta aztertzea. Horretarako, hainbat puntu aztertuko dira. Hasteko espaziora bidaiatzen hasi zenetik eman diren misio guztien laburpen orokor bat emango da. Jarraian, janaria nola sailkatzen den eta ontziratzekeo zer metodo ezberdin dauden azalduko da. Bestetik, elikadura egokiaren eta misioaren arrakastaren arteko

erlazioari buruzko erronka ezberdinez hitz egingo da, erronka teknologiko eta nutrizionalak batik bat, hori baita gaur egungo kezka nagusia.

Beraz, aipatutako kontzeptuak ulertzeko helburu zehatz hauek aurkeztu egiten dira:

- Historian zehar eman diren misio espazial ezberdinetako janariaren garapena analizatzea.
- Espaziora eramaten diren elikagai ezberdinak nola ontziratzen diren aztertzea.
- Misio espazialean ematen diren elikadura erronkak aztertzea ikuspuntu teknologiko eta nutrizional batetik.

## **4. GARAPENA**

### **4.1 METODOLOGIA**

Lana burutzeko eta aurretik azaldutako helburuak lortzeko berrikuspen bibliografiko bat egin da nagusiki PubMed eta Scopus datu baseak tresna gisa erabiliz (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> eta <https://www.scopus.com/>). Web orrialdeak ere erabili dira neurri txikiago batean, batez ere irudiak bilatzeko. Erabilitako artikuluguztiak 2001 eta 2022. urteetan argitaratutakoak dira, gaurkotasuneko informazio bat lortzeko helburuarekin. Hala ere, 1977 eta 1999. urteetako bi artikuluguztiak erabili dira, urte horietan egin ziren misioen ezaugarriak azaltzeko.

Artikuluak bilatzeko gako-hitzak hurrengoak izan dira: "nutrition" eta "astronauts". Laguntza gisa "space", "food" eta "spaceflight" hitzak erabili dira artikuluak are gehiago iragazteko. Artikuluak onartzeko berrikuspen bibliografikoak eta entsegu klinikoak dituztenak hartu dira kontuan, eta artikuluak osotasunean ingelesez edo gaztelaniaz argitaratutakoak. Gainera, hizkuntza-murrizketa bat egin da, artikuluak hautatu egin baitira (ingelesez eta gaztelaniaz idatzitako artikuluak soilik erabili dira). Era berean, baztertu egin dira laburpena (abstract) baino agertzen ez zuten artikuluak, edo landu beharreko gaiari buruzko informazio egokia ematen ez zutenak, baita 2000. urtea baino lehenagoko artikuluak ere.

### **4.2 ESPAZIORAKO JANARIAREN BILAKAERA**

60. hamarkadatik, NASAk elikadura-sistema segurua eman die astronautei 4 eta 11 hilabete bitarteko misioetan. Hala eta guztiz ere, ura, biltegiatzea, bidaiaren iraupena eta elikagaiak prestatzeko gaitasuna mugatuak dira. Astronautek beren elikagaien eta edarien %20

hautatzen dute eta %80, berriz, elikagai estandar partekatuen multzo batetik dator. Hornitzeko ibilgailuak tripulaziorik gabeko ontziak dira eta bere gain hartzen ditu Nazioarteko Espazio Estazioa (ISS) hornitzeko eta hondakinak kentzeko eginkizunak. Urtean behin baino gehiagotan bidali egiten dira hauek espaziora, fruta eta barazki freskoekin, baita gai berezi erdi-iraunkor batzuekin ere. Astronautek jakinarazten dute entrega horiek onura psikologiko sakonak ematen dituztela (3).

Hasieran, NASAren janari-horniduraren sistema produktu bereziekin hasi zen. Produktu horiek ahalik eta tamaina eta bolumen txikiena izateko diseinatu ziren, Lur planetatik bidali ahal zen janaria limitazio ugari zituelako bi ezaugarri horiei dagokienez. Espaziora bidalitako janari hornidura aldatzen joan da teknologia berrien eboluzioari esker. Hona hemen programa espazial ezberdinetan eman ziren aldaketa eta berrikuntzak:

*Mercury* programa (1961-1963): *Mercury* proiektua NASAren erantzuna izan zen Sobietar Batasunaren une horretako lidergoaren aurrean, eta aukeratutako 7 astronautetatik 6k bakarrik parte hartu zuten.

Jatea mikrograbitarekin izandako hasierako esperientzia izan zen. Zientzialariek elikagaiak irenstea eta hauen xurgapena posiblea zela baieztatu zuten. John Glenn amerikarrak, 1962. urtean, lehen astronauta izan zen espazioan jaten, sagar-purea hain zuzen ere. Beraz, *Mercury* programa honi esker elikagaien irenstea, xurgapena eta digestioa grabitaterik gabeko ingurunean posiblea zela frogatu zen. Izan ere, *Mercury*-ren sei hegaldiek 2 egun eta 6 orduko iraupena izan zuten, beraz elikatzeko beharra ez zen arazo handia izan (1,3).

*Gemini* programa (1962-1966): *Gemini* programa Ameriketako Estatu Batuetako bigarren espazio-programa tripulatua izan zen, 1960ko hamarkadaren hasieran garatua. *Gemini* misioen garrantzian oinarritu zen astronauta estatubatuarrei aukera eman baitzien espazioan erosotasun gutxiko baldintzetan lan egiteko eta lo egiteko moduari buruz ikasteko. Hala ere, misio hauek ez ziren luzeak izan, eta elikaduran esperimendu zen arren, ez zuen kezka handirik sortu (4).

NASAK bidaltzen zituen elikagaiak liofilizatutako kubo moduan bidaltzen ziren (haragizkoak, frutazkoak...). Hauek ez zuten onarpen onik izan, eta horietako kubotxo asko Lur planetara bueltatzen ziren jan gabe.

*Apollo* programa (1961-1975): Misio honen helburua astronauten Ilargiratzea zen. Hau 1969ko uztailean gauzatu zen, Neil Armstrong, Edwin Aldrin eta Michael Collinsen

zuzendutako *Apollo 11* misioa lurreko satelitean lehen aldiz sartu zenean. *Apollo* misioek iraupen luzeagoak izan zituzten, hala nola, 195 ordukoa izan zen *Apollo 11*-ko bidaia, hau da, zortzi egunekoa. Beste bidaia guztiek iraupen antzekoak izan zituzten. Astronautak bat etorri ziren misioaren jarduerak kontsumitu beharreko elikagai mota eta kopurua ezartzen dituela esatean, eta, iraupen luzeko misioen kasuan, dieta eta elikagaien irenstea kontu handiz optimizatu beharko lirakekeela adierazi zuten (5,6).

*Gemini* programan erabilitako elikagai asko mantendu ziren, baina kaloria kantitatea igo egin zen, eta liofilizatutako elikagaiak aparte, termoegonkortutako eta berhidratagarriak diren elikagaiak ere sartu ziren. Hau dena garrantzitsua izan zen orain janaria bero jan ahal zutelako eta onarpena handiagoa zelako.

*Skylab* programa (1973-1979): *Skylab* Estatu Batuetako lehen estazio espaziala izan zen. Baldintza fisiologikoen eta esperimentalen ondoriozko nutrizio-zehaztapen zehatzek *Skylab*-eko elikagaien horniduraren konposizio kimikoaren azterketa sakona eskatzen zuten. Menuak, gutxienez, funtsezko mantengai guztiei Ikerketa Kontseilu Nazionalak gomendatutako kantitate dietetikoa emateko formulatu ziren, eta, gainera, kaltzio, fosforo, magnesio, sodio, potasio eta proteina konstanteak egunero irensteko. Oro har, astronautek programatutako menuetara mugatu ziren. Elikagaiak irensteko eta digeritzeko gaitasunak ez zuen eraginik izan luzaroko grabitaterik ezaren ondorioz. Aurreko hegaldietan gertatu ziren hezur eta muskulu aldaketak nabarmenagoak izan ziren *Skylab*-en (6,7).

Aurreko programei dagokienez, menuen palatabilitatea eta menu aldaketak handitu ziren. Astronautek 72 elikagai ezberdin zituzten aukeran, eta hauetako asko aluminiozko latetan ontziratu ziren bizitza baliagarria handitzeko. Elikagaiak izozteko, hozteko eta berotzeko ekipoa barne hartu zituen lehen programa espaziala izan zen.

*Shuttle* programa (1981-2011): 1981. eta 2011. urteen artean Estatu Batuetako astronautek garraiatzeko erabili zuten espazio-ibilgailu bakarra izan zen. Ontzi horiek karga handiak hainbat orbitatara eramateko, Nazioarteko Espazio Estazioan (ISS) modulu orbitalak hornitzeko eta jartzeko eta mantentze-lanak egiteko erabili ziren.

Lurraren antzekoagoa den elikadura diseinatu zen, elikagaien ontzien diseinuak eta aurreko hardware-elementuak eguneratuz. Elikagai barietatea 74 elikagai mota desberdinetara zabaldu zen eta 20 edari mota. Transbordadorearen menu estandarra 7 eguneko misio baterako diseinatuta dago. Astronautek onartutako zerrendako elikagaiak ordezkari ditzakete beren gustuak egokituz, edo beren menuak ere diseina ditzakete. Hala ere, menuak

dietistek berrikusten dituzte mantenugaien hornidura orekatua ematen dutela ziurtatzeko. Transbordadorean, janaria ibilgailuaren erdiko estalkian dagoen sukalde batean prestatzen da. Unitate modular honek ur-banagailu bat eta labe bat ditu. Ur beroa, hotza edo girokoa eman dezakeen ur-banatzaila elikagaiak berriz hidratatzeko erabiltzen da, eta sukaldeko labea elikagaiak zerbitzatzeko tenperatura egokian berotzeko erabiltzen da.

Labea aire behartutako konbekziokoa da, eta elikagaiak tamaina, forma eta material desberdineko ontzietan berotzen ditu. Lau laguneko talde batentzako bazkari osoa 5 minututan presta daiteke. Janaria berregin eta berotzeko 20-30 minutu gehiago behar dira. Bazkariko erretilua afaritarako plater gisa erabiltzen da. Erretilua astronautaren altzoari lotzen zaio uhal baten bidez, edo horman finka daiteke. Jateko tresnak aiztoa, sardexka, koilara eta janari-paketeak irekitzeko guraizeak dira. Astronauta askok esan dute poltsikoetan daramaten gauzarik garrantzitsuenetako bat guraizeak direla (8).

#### 4.3 ESPAZIO-JANARI MOTAK

Espaziorako elikagaiak zero grabitateko ingurune batean mantentzeko moduan ekoizten dira. Arina, trinkoa eta kontsumitzeko erraza izan behar du. Elikagai hauen alderdirik garrantzitsuena haien bizitza baliagarria da: egoera berean denbora luzez gorde ahal izatea hondatu gabe. Ontziak eta elikagaien diseinuak ere zeregin garrantzitsua dute. Janariaren diseinua hobetzea garrantzitsua da, ez bakarrik mantenugaien kontsumorako, baita astronauten kemena eta produktibitatea hobetzeko ere.

NASA-ren janari-horniduraren sistema produktu bereziekin hasi zen, eta produktu horiek ahalik eta tamaina eta bolumen txikiena izateko diseinatzen ziren gure planetatik kanpo atera zitekeen masa eta bolumen mugak zirela eta. Hala eta guztiz ere, pixkanaka teknologia berriek ahalbidetu dute janari espazialaren esperientzia ahalik eta etxekoena izaten.

Esan bezala, teknologiari esker, espaziora bidaltzen den janaria teknologia berriekin tratatu daiteke, horrela hainbat modutan ontziratuta eta paketatuz. Espazioko janari motak bereziki zazpi taldetan sailkatzen da:

- Berhidratatutako janaria: Elikagaiei ura kentzen zaie, errazago biltegitratzeko eta garraiatzeko helburuarekin. Prozesuari deshidratazioa edo liofilizazioa esaten zaio. Oloa, gazta, oilaskoa edo arroza bezalakoak elikagai berhidratatuen adibideak dira. Elikagai liofilizatu berhidratatuen erabilerak errehidratazio azkarraren, mantenugaien galera txikiagoaren, pisu arinaren eta kontserbazio errazaren abantailak ditu.



Liofilizazio-teknologia asko erabiltzen da fruta eta barazki freskoak prozesatzeko. Fruta eta barazkien usaina ahalik eta gehien kontzentratu dezake, eta jatorrizko C bitamina eraginkortasunez babestu. Astronautek ere espazioan edari errehidratatzaile mota asko jan ditzakete. Txinako *Tiangong 2* ontzian, tripulatzaileek lehen aldiz prestatu zuten tea espazioan. Edan aurretik, errehidratazioa ur-injekzioarekin osatzen da, eta gero berogailuaren bidez berotzen da (9).



1. irudia: Berhidratatutako noodle-ak oilaskoarekin (10).

- Elikagai termoegonkortuak: Elikagai termoegonkortuak elikagai espazialen menuaren zati handi bat dira. Beroketa bidez prozesatzen diren elikagaiak dira. Prozesuan mikroorganismoak hondatu egiten dira, baita entzimak eta patogenoak ere, beraz, honen ostean giro tenperaturan gorde daitezke. Arrain asko (hegaluzea, adibidez) termoegonkortuak izaten dira latetan. Janaria espaziora eramateko baliabide nagusia izan zen *Apollo* programan, baina desabantaila handia dauka: pisua.

Aluminiozko latekin alderatuta, poltsa malguak arinagoak dira eta biltegitratzeko espazioa aurrezten dute. Edukiaren ikuspegitik, elikagai termoegonkortuek likatasun handiagoa dute elikagai termoegonkortuen grabitaterik ezaren eta zaporearen eragina murrizteko, eta elikagai arrunten zaporea oso desberdina izan daiteke, eta horrek elikagaia ez hain zaporetsua eta irensteko zaila izatea eragin dezake (7).

- Tarteko hezetasuneko elikagaiak: Berhidratatutako janariaren antzera, hemen ere ur kantitate bat kendu egiten zaie, ez guztia. Ura partzialki kentzea lagungarria da elikagaiak bere testura eta propietate bigunak gorde ditzan. Gelditzen den hezetasun kopurua %20-30 tartekoa da, hau da, gatzarekin eta azukrearekin lotura kimikoen bidez lotutako ur kantitatea. Horrek elikagaien mikrobioak haztea eragozten du, eta inolako prestaketarik gabe kontsumitu daiteke. Honen adibideak udareak, mertxikak edo zezina dira (9).

- Elikagaiak forma naturalean: Mota honetakoak jateko prest daude eta poltsa malguetan ontziratzen dira. Elikatzeko modu naturalek fruitu lehorrak, litxarriak, gailetak, fruitu eta barazki freskoak, zereal-barratxoak eta abar barne hartzen dituzte. Barazkiek eta frutek bizitza erabilgarri laburra dute, baina laguntza psikologiko garrantzitsua dira eskifaientzat.

Elikagai hauek giza gorputzak behar dituen energia, bitaminak eta hezetasuna ematen dituzte, eskifaiei osasun mentala errazteaz gain. Baina elikagai naturalen pisua astuna izan daiteke eta ezin da luzaroan kontserbatu.



2. irudia: Txokolatezko golosinak forma naturalean (11).

- Irradiatutako elikagaiak: Irradiatutako elikagaiak erradiazio ionizatzaileek sortutako energia handiko izpien bidez esterilizatzen dira, hala nola X izpiak,  $\gamma$  izpiak edo abiadura handiko elektroien bidez. Irradiazio bidezko esterilizazioa hotzean lan egiteko teknologia berezia da, organismo bizidunak elikagaiak desizoztu gabe inaktibatu ditzakeena. Oso gutxi eragiten dio elikagaien kalitateari, eta zapora bakarri ahalik eta gehien eutsi diezaike. Irradiazioaren beste abantaila bat da produktua irradiazioaren aurretik ontziratuta daitekeela, ontziratze materiala eta ontziratze prozesua kutsatzeko aukera kenduta.

*Apollo*-ko astronautak izan ziren espazioan irradiatutako elikagaiak erabiltzen lehenak. *Apollo 12*tik *17*ra bitarteko misio guztiek ogi fresko irradiatua eraman zuten eta *Apollo 17*an, *Natick* laborategiarekin elkarlanean, urdaiazpiko sandwich bat sartu zen, ogi irradiatuarekin eta urdaiazpiko antzu irradiatuarekin egina. Gaur egun, irradiazio bidezko esterilizazio-teknologia liofilizazio-teknologiarekin konbinatuta erabiltzen da askotan (12).

Beraz, termoegonkortuak bezala, giro tenperaturan ere kontserba daitezke. Haragixerra eta indioilar ketua dira gaur egun erabiltzen diren produktu irradiatu bakarrak.

- Elikagai izoztuak: Janaria azkar izozten da, izotz-kristal handiak pilatu ez daitezten. Honi esker jatorrizko ehundura izaten laguntzen du, zapore freskoago bat lortuz. Erregosiak eta tartak dira honen adibide.
- Elikagai hoztuak: Elikagai hauek mantentzeko eta hondatu ez daitezten, ingurune hotz batetan edo tenperatura baxuetan gorde behar dira. Esnegaina eta gazta modu honetan biltegitatuta mantendu egiten da.

#### 4.4 ESPAZIORAKO ELIKAGAIEN ONTZIRATZEA

Elikagaien bizitza baliagarria bakterioak hazteko potentzialak, nutrizio-degradazioak eta kalitatearen degradazioak baldintzatzen dute. Ontziratzeak mikroorganismoen kutsadura ekidin dezake, elikagaiak arrisku fisikoetatik babestu eta kanpoko oxigenoaren eta uraren transmisioa kontrolatu.

Balantzaren bi mutur dira elikagai seguru, nutritibo eta onargarrien garapena eta ibilgailuaren baliabideen erabilera eraginkorra. Adibidez, beharrezkoa izan daiteke enbalaje-masa handiagoa izatea elikagaiak hezetasunetik eta oxigenotik babesteko eta elikadura-sistemaren beharrezko balio-bizitza betetzeko. Etorkizuneko misio espazialeterako ontzi egokiena elikagaietara migratzen ez duten material ez-toxikoz eginda egon beharko litzateke, mantenu gaien galera eragiten duten erreakzio kimikorik gabe. Ontziak saihestu egin behar du elikagaiak ura galtzea, oxigeno-trukea blokeatu behar du hondatzea saihesteko, argia blokeatu behar du nutriente fotosentikorren galera saihesteko eta mikroorganismoen kutsadura saihesteko (7).

Garraiorako erosoan izan behar du, arina, iraunkorra, elikagaiaren forma alda dezakeen indar fisikoari aurre egiteko gai izan behar du, beharrezkoa ez den bolumena sortu gabe eta hondakin gutxiago sortuz. Egungo misioetan, hondakin gehienak, ontziak eta janari-hondarrak barne, eskuz konprimitzen dira, zinta itsaskorrean biltzen dira eta hurrengo hornikuntza-ibilgailua iritsi arte biltegitatzen dira. Hurrengoak dira gaur egun elikagaiak ontziratze moduak:

- Metalezko lata: Metalezko latak ontziratze materialak, hala nola aluminioa, oztopo-propietate onak dituzte, elikagaien bizitza erabilgarria 3 urtera arte mantentzen dutenak. *Skylab* programan, elikagai gehienak aluminiozko latetan ontziritu ziren, 2 urteko bizitza baliagarria izateko. Ontziratze-teknologia hau gaur egun misio tripulatuatan erabiltzen jarraitzen da, hala nola Errusiak ematen duen nazioarteko

estazio espazialeko janaria. Ontzi honek hesi ona du, baina astuna ere bada. Iraupen luzeko hegaldi tripulatuaren misioetan, enbalaje astunak eta zaborra ezabatzeko zailtasunak direla eta, ontziratze modu hau ez da erabiltzeko egokiena (8).

- Berrerabiltzeko poltsa: Bolumena eta masa aurrezteko, plastiko malguko eta metalezko xaflekin egindako poltsak erabiltzen hasi ziren. Ontziratutako elikagai hauek giro-tenperaturan jar daitezke eta bizitza luzea dute. Hotz edo bero kontsumitu daiteke, eta hori erabiltzea eroso da eta kontserbatzeko behar den energia aurrezte ahalbidetzen du. Modu honetan ontziratutako produktuek elikagaien segurtasuna eta nutrizio-balioa berma dezakete. Ontziratze metodo honek potentzial handia du elikagaien testura sentzorialaren onargarritasunari eusteko 3-5 urteko biltegitze-aldian (13).
- Film jangarria: Film jangarrien materialek almidoiak, polisakaridoak, proteinak, koipeak eta material konposatuak izaten dira. Pelikula jangarriaren aplikazio-esparruek fruta eta barazki freskoak, haragia, produktu izoztuak eta laberatuak kontserbatzea eta janari lasterrean hauts aromatizatzailea ontziratzea da. Ontziratze jangarriaren pelikulak elikagaien zapora eta ehundura aldaketak saihesten ditu biltegitzean eta garraioan, gas, ur-lurrin, solutu eta lurrinen osagaien migrazioa eragotziz, elikagaien kalitatea bermatuz eta haien bizitza baliagarria luzatuz (13).
- Hesi handiko ontziak: *Gemini* misioetan (1965-1966), ur-lurrunezko eta oxigenozko hesi-propietate handiko ontziratze-material bat garatu zen. Oxigenoarekiko eta ur-lurrinarekiko erresistentzia handiak elikagaien zaporea babesten laguntzen du. Ohiko materialekin alderatuta, hesi altuko filmetarako material hauek hesi-efektu hobea dute oxigenoaren eta ur-lurrunaren aurka, eta ontziaren edukiaren egonkortasuna berma dezakete tenperatura altuko eta hezetasun handiko ingurune batean. Ontziratze material horiek elikagai azidoak, hezetasun ertainekoak eta elikagai deshidratatuak ontziratze erabil daitezke.
- Aplikatzeko aukera dituzten beste ontzi batzuk: Nanomaterialek aplikazio-ikuspegi zabala dute elikagaien ontziratze aeroespazialean, pisu arina, erresistentzia handia, hesi ona, funtzio anitza eta elikagaiak ontziratze beste ezaugarri batzuk sortzeko gaitasuna dutelako. Nanomaterialek hesi altua, sugarraren atzerapen handia eta egonkortasun termikoa emateko ezaugarriak dituzte, eta horrek elikagaien bizitza erabilgarria 3-5 urtera arte hedatzen lagun dezake.

#### 4.5 ELIKADURARAKO ERRONKA TEKNOLOGIKO ETA NUTRIZIONALAK

Espaziorako misioen arrakasta elikadura-sistemaren eskasiaren arabera eman daiteke; hala nola mantenugai baten edo gehiagoren urritasuna, kaloria gutxiegi hornitzea eta kontsumo eskasa, kontserbazio desegokia edo mantenugaien toxikotasuna, besteak beste. Gainera, gutxieneko nutrizio-baldintzak betetzeak urritasuna baino ezin du prebenitu; aldiz, optimizatutako sistema batek (fruta eta barazki eta konposatu bioaktibo elkartuak barne hartzen dituen sistema batek bezala) osasuna eta errendimendua sustatzeko ahalmena du. Marterako misioetarako elikadura-sistema garatzea askoz neketsuagoa da ilargiaren eta ISSren misioetarako baino. Bidaia luze horiek ISSrako bidaia baten antzekoa da, baina elikagai freskoen noizbehinkako entregarik gabe (14).

Lurrean hainbat elikadura-sistema dauden arren, oraindik ez da ezarri horiek hegaldi espazialen eskaerak asetzeko duen gaitasuna. Bestalde, kostuen eta ordutegien mugen barruan duten bideragarritasuna oraindik ez dago argi. Martera egiten diren bidaietan batez ere elikadura-sistema bat garatzeko erronka handiak nabarmentzen dira. Orain arte, elikadura-sistema bakar bat ere ez da diseinatu eta probatu. Beraz, janari espazialaren edozein sistemak oinarrizko irizpide batzuk bete behar ditu (15):

- Segurtasuna: Lehentasunezkoa da astronauten osasunerako. ISSren elikadura-sistemak prozesu eta proba luzeak egiten ditu gure planetan elikagai-intoxikazioen arriskua minimizatzeko.
- Egonkortasuna: Marterako misioetarako egungo diseinuek elikagaien sistemaren egonkortasuna eskatzen dute, gutxienez 5 urtez biltegituta egon ondoren. Hozkailuak eta izozkailuak erabili daitezkeen arren, ekipo hori kontuan hartu beharko da misioaren bolumen, masa eta potentzia-mugen aurrean.
- Baliabideak: Elikadura-sistema batek erabilitako baliabide guztiak eta sortutako hondakin-produktu guztiak (adibidez, hondakin-urak, paketeak, hondakin biologikoak...) hondakin onargarrien kantitate eta barietatearekin alderatzen dira. Misioaren planifikatzaileek, mediku eta osasun espezialisten ekarpenekin, osasun eta jarduera laguntzako sistemak zehaztuko dituzte (adib., elikadura, ariketa, arreta medikoa) ibilgailuen baliabideen eta misio handienaren mugen barruan.
- Barietatea: Elikagaien motak, ehundurak eta zaporeak barietatea gehitzen dute. Beharrezkoa izan daiteke sistemak konbinatzea menuaren nekea saihesteko.

Elikagai, osagai edo mantenugai-iturri perfektu batek ere ezin du elikadura-sistema oso bat eman.

- Fidagarritasuna: Sistema guztiak baliozkotu behar dira hegaldi espazialaren inguruko muturreko baldintza errealetan edo simulatuetan (adibidez, presioa, grabitatea, temperatura, erradiazioa). Bestela, espazioko ibilgailu batek sistemaren bat galtzekotan, emaitza zoritzarrekoa izango litzateke.
- Erabilgarritasuna: Elikadura-sistemak erraza eta azkarra izan behar du astronautek elikagaiak prestatzeko edo ekoizteko. Hasierako misioetako tripulazioak esplorazioan eta zientzian zentratuko dira, eta misio horietan, astronautek janaria prestatuko dute, batez besteko pertsona batek bere sukaldean egingo lukeen bezala. Idealki, astronautek solteko osagaiak erabiliz sukaldatuko lukete, baina espazio-ontziaren kontsiderazio teknikoek zaildu egiten dute egoera hori.
- Zaporea: Elikadura-sistema batek beharrezko irizpide guztiak bete ditzake, baina tripulazioko astronautek gustuko ez badute, ez da kopuru egokietan kontsumituko eta beraz, osasuna, errendimendua eta morala ez dira egoera egokietan mantenduko. Astronautek prest egon behar dute edozein misio irautean duen bitartean eskuragarri dauden elikagaiak prestatzeko eta kontsumitzeko. Lurreko gizakiek bezala, astronautek elikagai atseginak behar dituzte, batez beste pertsonak egunez egun kontsumitu nahiko lituzkeenak eta prestatzeko errazak eta azkarrak direnak (13).

Erronka nutrizionalei dagokionez, astronautekin lortutako esperientziak nutrizio-arazo ugari utzi ditu agerian oraindik ikertzen ari direnak epe laburreko eta luzeko misioetan. Espazioko hegaldietan grabitate-gabeziara egokitzeak dakartzan albo-ondorioek osasun-arrisku ugari eragiten dituzte. Bigarren mailako ondorio horiek aldaketak eragiten dituzte sistema muskulu eskeletikoan, immunologikoan, endokrinoan eta beste sistema fisiologiko batzuetan.

Iraupen luzeko misioetan, astronauten desnutrizio-arriskua irensten dituzten elikagaien kantitate eta kalitate desegokitik dator. Gaur egun, espazioan kontsumitzen diren elikagai gehienak bizitza erabilgarri mugatua duten elikagai prozesatu eta biltegitatuak dira. Erronka bat da elikagai espazial gehien kalitatea mantentzea 5 urteko epean. Elikagaiek lehen 2 urteen ondoren kalitatea galtzen badute, tripulazioak ez du nutrizio nahikorik lortuko 2 urte baino gehiagoko misio espazialeterako (16,17).

#### 4.5.1 HEZUR GALTZEA

Mikrograbitareari lotutako hezur-dentsitatearen murrizketa hezur-zeluletan izandako aldaketek eragindako hezur-birmoldaketaren desorekaren ondorio da. Lurrean egindako mikrograbitare simulatuaren azterketek frogatu zuten osteoblastoen, osteoklastoen, osteozitoen eta zelula ama mesenkimalen morfologia eta funtzioak aldatu egiten zirela, eta horrek iradokitzen du hezur-zelulek erantzun egiten dutela eta grabitate aldatuaren egoerara egokitzen direla, morfologia eta funtzioak aldatuz (18).

Ikerketek frogatu zuten mikrograbitare modelatuak osteoklastoen jarduera areagotzen zuela, kappa-B (RANKL) faktore nuklearraren hartzaile aktibatzailearen lotunea eta hezur-erresortziorako gaitasuna. Frogatu zen ere deskargak ondorio negatibo asko eragiten dizkiela osteoblastoei, zelula-azaletik nukleora bitarteko seinaleztapen-ur-jauziengatik. Eraitzen arabera, osteoblastoek mikrotubuluaren antolaketa eraldatua erakusten dute, baita atxikipen fokalen (AF) eta JF (paxilina, loteslea eta zixina) proteinen tamaina eta kopurua murriztea ere. Frogatu da deskargak F-aktinaren tentsio-zuntzen eraketa eteten duela, eta eremu zelularren hedapen esanguratsua ikusi zen mikrograbitarearen eraginpean dauden osteoblastoetan, F-aktinaren tentsio-indarren alterazioarekin eta zurruntasun mekanikoaren murrizketarekin lotuta (19). Gainera, morfologia nuklearrean ere aldaketa nabarmena ikusi da. Beraz, grabitate-indarrak ezak sare zitoeskeletiko nagusien banaketa arruntari eta osteoblastoen geometria orokorrari eragiten die, eta eragina du funtzio zelular paraleloan (20).

Hezur-minerala espazio-hegaldian galtzen da eskeletoa deskargatzearen ondorioz, eta odol-uholdean hezur-minerala (kaltzioa) galtzeak gernuan kaltzio-irraiztea areagotzen du. Hegaldi espazialean, hezurra galtzeak eta giltzurrun-kalkuluak sortzeko arriskua handitzeak arrisku nabarmenak dituzte tripulatuzaileen osasunerako, bai hegaldian, bai hegaldiaren ondoren (21,22).

Hezur-dentsitate minerala murriztea eta hezur-ehunaren aldaketa mikroestruturalak, hausturak eta osteoporosia izateko arrisku handiagoa eragiten dute eta tripulatutako hegaldi espazialen osasun-kezka nagusiak dira. Muskulu-indarraren galerak, erabilerarik ezak eta mikrograbitareak eragiten dutenak, eskeletoaren karga gutxitzen du, modelatzea desaktibatzeraino, eta hezur-birxurgapenak eraketa gainditzen du. Horren ondoren, plasmako kaltzio-kontzentrazioa handitu egin da, hormona paratiroidea (PTH) eta D bitamina gutxitu egin dira, kaltzio-xurgapen aktiboa murriztu egin da eta gernuan kaltzio-irraiztea areagotu egin da.

Hezurretako dentsitate mineralaren murrizketa eskeletoaren lekuaren araberakoa da, bereziki: bizkarrezurra, femurraren lepoa, trokanterra eta pelbisa. Horrek Lurrera itzultzen diren astronautetan osteoporosia goiz agertzeko arrisku handiagoa dakar (23).

Lehorrean, frogatu da D bitaminaren osagarriak hezurretan kaltzio-edukia handitzen duela, eta, horregatik, astronautei ahoko bitamina-gehirri bat ematen zaie, iraupen laburreko misioetarako egokia dirudiena, baina agian ez iraupen luzeoetarako. Azterketa gehiago egin behar dira D bitaminarekin aberastutako dieten eraginkortasuna definitzeko, D bitaminarekin gehitzeko edo mikrograbitare baldintzetan argi ultramorearekin tratamendua erabiltzeko. Tratamendu horrek osteoporosi moduan hezur-galera izan ohi duten menopausia osteko emakumeentzat funtzionatzen du, baina baliteke espazioko astronautentzat ez funtzionatzea (24).

Mikrograbitarek eragindako osteopenia arrisku handia da, eta bidaiari espazialen osasunerako arriskua da. Horregatik, gaur egun kontraneurriak erabiltzen dira iraupen luzeo hegaldi espazialean hezur-masaren galera murrizteko, besteak beste, osagarri dietetikoak, jarduera fisikoa eta esku-hartze farmakologikoak.

#### 4.5.2 KALTZIOA

Mikrograbitare inguruneak hezurra galtzea eragiten du, ondoren, kaltzioa. Misioa zenbat eta luzeagoa izan, orduan eta hezur eta kaltzio gehiago galtzen da. Kaltzio balantze negatiboa ikusi zen Skylab misioetan. Iraizketaren gehikuntza kaltzioaren gertu-iraizketa da hegaldi espazialen bitartean eta ondoren giltzurrun-kalkuluak sortzeko arriskua handitzen laguntzen duen faktore nagusietako bat izan zen (25).

Hezur-osasuna, hezur-galera eta hezur-metabolismoa ebaluatzeko teknika analitikoek eboluzionatzen jarraitzen dute teknologiarekin. Dentsitometria-teknikek (DXA eta tomografia konputarizatu kuantitatiboa) hezur espezifikoen ebaluazio baliotsua ematen duten arren, teknika horiek hezurrean aldaketa handi samarrak baino ez dituzte detektatzen, eta zenbait hilabete behar dira magnitude horretako aldaketak gertatzeko. Kaltzioa aztertzeko, oreka-azterketa trinkoak edo trazatzaileen azterketa zinetikoak egin behar dira. Hezur-markatzaile biokimikoek hezur-prestakuntzaren edo -erresortzioaren aldaketen ebaluazio azkarragoak eman ditzakete, baina bi faktore horien elkarketa erlatiboaren ebaluazioa ezinezkoa izan da orain arte, eta, beraz, zaila da hezuraren kaltzio-edukiaren aldaketa garbiak ebaluatzea (26).



Ohean atsedean hartzeko eredu batean teknika berri bat baliozkotu da, azkar detektatzeko eta kuantitatiboki aurreikusteko hezur mineralaren balantzean izandako aldaketak (heziketaren eta hezur-erresortzioaren arteko erlazioa). Ohean atsedean hartzearen ondorioz hezurren oreka mineralean gertatzen diren aldaketak isotopo egonkorren trazatzailerik jaso ez duten banakoen gertu kalzio-isotopo egonkorren proportzioak neurtuz antzeman daitezke. Kalzio isotopoen biomarkatzaile hori biologikoki eragindako aldaketa naturaletan oinarritzen da. Aldakuntza horiek kalzio naturaleko 6 isotopoen emaitza dira ( $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{42}\text{Ca}$ ,  $^{43}\text{Ca}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ ,  $^{46}\text{Ca}$  eta  $^{48}\text{Ca}$ ), eta abiadura desberdinetan erreakzionatzen dute, masaren arabera. Aldakuntza horiek edozein lotura kimikoren bibrazio-frekuentziak elementu eratzailen masen funtzio bat direlako sortzen dira (27). Ondorioz, isotopo astunak osatutako loturak hausteko isotopo arinago batekin lotura bera egiteko baino energia gehiago behar da. Oreka lortzen duten erreakzio kimikoetan (biologian arraroak direnak), isotopo astunenak lotura kimikoko ingurune indartsuetan kontzentratzen dira batez ere. Oreka lortzen ez duten erreakzio kimikoetan (adibidez, erreakzio zinetikoak), isotopo arinagoak dituzten loturak isotopo astunagoak dituztenek baino azkarrago erreakzionatzen dute.

Hezur-galeratzat jotzen denean, kalziora hartzea hasierako kezka argia da. Skylabeko tripulatuak batez beste  $894 \pm 142$  (SD) mg kalziora kontsumitu zuten egunetan, misioetan zehar (28, 59 eta 84 egun) arreta handiz planifikatutako eta gauzatutako oreka metabolikoko azterketetan parte hartzen zuten bitartean (28,29). Hegaldi espazialeko eta ohean atsedean hartzeko ereduetan, aldaketak azkar gertatzen dira hezur-biokimikan, gizakiak ingurune aldatuan sartu ondoren. Litekeena da horrek zerikusia izatea hezur-galerarekin, deskargari erantzuteko, eta kalziora hezurretik askatzearekin, hormona paratiroidea ezabatzen baitu.

#### 4.5.3 MUSKULUAK ETA HEZURRAK

Muskulu eskeletikoa eta hezurra dira sistema muskuloeskeletikoaren bi osagai nagusiak. Harreman mekaniko estua dute: hezurra palanka gisa jarduten du, eta muskuluak polea gisa, organismoa mugitzeko. Hezurra masa eta egitura doitu ditzake muskuluak aplikatutako karga mekanikoaren aldaketen arabera. Perspektiba mekaniko horrek esan nahi du muskulufuntzioa jaisteak hezuraren karga gutxitzea eragiten duela, eta horrek hezur-galera dakar. Hala ere, hezur-masaren murrizketak ez du erabat azaltzen sarkopeniaren agerpena, eta muskulu-atrofiak ez du osteoporosi osoa azaltzen; hala ere, sarkopenia eta osteoporosiak paraleloan garatzen dira paziente askotan. Azken hamarkadan, hainbat ikerketa-lerrok erakutsi dute hezuraren eta muskuluen arteko elkarrekintza mekanikoa baino haratago doala (18).

Muskulutik eratorritako indarrak hezurrari eragiten diola erakusten duen beste froga bat hegaldi espazialean ikusten da; izan ere, astronautek hezurra eta muskulua galtzen dituzte grabitate faltaren ondorioz. Garrantzitsua da nabarmentzea, lurrera itzultzen direnean, muskulu-masa hezurrarena baino askoz lehenago berreskuratzen dela, eta horrek iradokitzen du hezur-galera berreskuratzeko muskulu-uzkurdura behar dela. Egokitzapen horien atzean dagoen elkarreragin mekanikoa ulertzen laguntzeko, animalia-eredu batzuk garatu dira. Animalia-eredu horietan, muskulutik eratorritako indarrak eten ondoren ebaluatzen dira hezurraren aldaketak. Kalte neuralaren ondorio muskuloeskeletikoak simulatzeko, bizkarrezur-muineko lesio-eredu bat erabiltzen da, interbentzio kirurgikoak muskulu-paralisia eragiteko erabiltzen duena. Giharren paralisiak eragindako hezur-galera azkar bat ikusten bada ere, zaila da bi ehunen arteko lotura mekanikoa isolatzea, hezurak neurona-aldaketen eragina jasaten baitu (30).

Nutrizio-ahorakina faktore garrantzitsutzat hartzen da, eta hezurrei zein muskuluei eragiten die. Oro har, proteinen sintesi-tasaren eta horien degradazioaren arteko epe luzeko desorekak adinarekin lotutako muskuluaren eta hezurraren galera eragiten du. Proteina gutxiago hartzeak hezur-galera handiagoa dakar, eta, beraz, proteinak hartzea beharrezkoa da hezur-masari eusteko (18).

Metaanalisi batek baieztatu zuen D bitaminaren osagarri dietetikoak emateak (700-1000 UI/egun) muskulu-errendimendua handitu dezakeela eta hezur-haustura %19an murriztu dezakeela komunitatean bizi diren eta D bitaminaren maila baxua dutenen artean. Hala ere, elikagaiak antioxidatzaileen iturri mesedegarria izan daitezke, substantzia antioxidatzaile, bitamina eta zuntz ugaritan duten edukiagatik (30).

Hegaldi espazialen aurkikuntza fisiologikoki garrantzitsuenetariko bat gorputz-proteinen galera da. Proteinen galerari eta horiek sistema muskuloeskeletikoan duten eraginari buruzko ikerketak Skylab transbordadorean egin ziren. Muskulu-masaren gutxitzea misio labur eta luzeen ondoren gertatzen da, batez ere grabitatearen aurkako funtzioak dituzten muskuluetan, dieta egokia eta ariketa gogorraren erregimena bermatzen saiatu arren. Erresonantzia magnetiko bidezko irudien analisiak, 1995ean 115 eguneko misio baten ondoren, talde muskularren proteinen galera % 10 eta % 20 artekoa zela erakutsi zuen. Lehen misio espazialeetatik, proteinen beharrak, bioerabilgarritasuna, ekintza-mekanismoa eta osagarriak hartu dira kontuan. Proteinak hartzea neurtu edo balioetsi den misio gehienetan, ez dago frogarik hegaldian proteinak hartzea desegokia denik iradokitzen duenik; misioaren fase jakin batzuetan izan ezik, hegaldian aminoazidoak hartzeak beharrak gainditzen ditu. Muskuluen atrofia indargabetu dezaketen aminoazidoen gehigarrien bidezko nutrizio-laguntza

barne hartzen duten metodoen garapenak balio handia izango luke hegaldi espazialearako ez ezik, medikuntza klinikoaren barruan ere (30).

#### 4.5.4 ALDAKETA IMMUNOLOGIKOAK

Animaliak eta gizakiak hegaldi espazialen baldintzen eraginpean egoteak parametro immunologikoen aldaketa ugari eragin ditu; esate baterako, linfuzitoen sorrera murriztea, zitokinen ekoizpena eta zelula hiltzaile naturalen jarduera aldatzea. Hegan egin ondoren, gizakietan eta animalietan leukozitoen azpimultzoen banaketan ere aldaketak izan direla jakinarazi da.

Iraupen luzeko misioetako energia-urritasunaren emaitzek areagotu egiten dute infekzioekiko sentikortasuna. Hegaldi espazialeko astronautekin egindako ikerketek erakutsi dute IgG-ren mailak ez zirela aldatu, eta IgA eta IgM mailak, aldiz, igo egin zirela. Hegaldi espazialei lotutako estres fisiko eta psikologikoaren ondorioz, birusaren T zelula espezifikoen immunitatea murriztu da. Beraz, zentzuzkoa da espazioko medikuntzan estresarekin lotutako immunoterapia-ikuspegiak kontuan hartzea, batez ere hegaldiaren ondorengo infekzioek izan ditzaketen arriskuei buruzko kezka planteatu direlako. T linfuzitoen kopurua murriztea eta horien funtzioa hondatzea immunitate-sistemaren gaineko grabitaterik ezaren ondorio garrantzitsua da. Nutrizioaren ikuspegitik, kontuan izan behar da zinkaren urritasuna T linfuzitoen antzeko aldaketekin lotzen dela (31).

Erantzun immunitario eraginkor batek zelula kopuru eraginkor bat ez ezik, zelula horien aktibazio eta funtzio eraginkor bat ere eskatzen du. Frogatu da linfuzitoen jarduera murriztu egiten dela. Frogatu da mikrograbitare simulatuak arnas estandaren jarduera aldatzen duela zelula promielozitiko ez-itsatsietan. Mikrograbitare errealean hori gertatzen dela baieztatzen bada, hegaldi espazialean infekzioak berreskuratzea atzeratu egin daiteke. Era berean, litekeena da erradiazioak espazioan ikusitako ezabatze immunitarioaren zati bat egitea. Astronauten odol periferikoaren linfuzitoetan kalte zitogenetikoaren berri eman da, ziurrenik erradiazio espazialak eragindakoak. Linfuzitoetan aberrazio kromosomikoak areagotu egin zirela ere jakinarazi zen, hegaldi espazial luzeen ondoren, eta ADN<sub>C</sub>-ren mikrokonponketak infektatutako zitoeskozeletoaren adierazpen genetiko eraldatua erakutsi zuen infusio-espazioan (32).

Hainbat mikronutrientek (A bitamina, betakarotenoa, azido folikoa, B12 bitamina, C bitamina, erriboflavina, burdina, selenioa eta zinka) immunomodulatzeko ekintzak dituzte. Duela gutxiko

lanek erakusten dute zenbait mantenugaik, hala nola argininak, glutaminak, nukleotidoek eta omega-3 gantz-azidoek, funtzio immunitarioan eragina izan dezaketela (33).

#### 4.5.5 HORMONA ALDAKETAK

Badirudi sistema endokrinoa sentikorra dela hegaldi espazialaren baldintzekiko. Hainbat hormonak zirkulazioan gora egin dezakete mikrograbitare baldintzen estresaren erantzun gisa, epinefrina eta norepinefrina, adrenokortikotropina eta kortisola barne. Hormona horiek zeregin bat betetzen dute glukosa eta gantz-azidoak plasman igotzean, ehun adiposoetan jarduera lipolitikoa areagotzean, lipogenesis murriztean eta gibelean glukogeno-edukia handitzean.

Hormona horiek hegaldi espazialean zehar eta ondoren neurtu dira: *SkyLab*-eko datuek erakusten dute hormonak katabolikoak (kortisona, glukagona) ugaritu egin direla eta 3-metilhistidina iraztea luzaro igo dela; horrek estres metaboliko kronikoaren erantzuna iradokitzen du, eta horrek eragina izan dezake, ez bakarrik misioaren iraupenean, baita energia hartzean ere. Gainera aldaketa horiek muskulu- eta hezur-masaren galeran, immunitate-egoeraren narriaduran eta mikrograbitarearen erantzun kardiobaskularrari eragiten dioten gorputzeko fluidoan eta elektrolitoen erregulazioan izan dezakete eragina (31).

#### 4.5.6 URDAIL-HESTEETAKO FUNTZIOA

Astronautek aldaketa gastrointestinalak izaten dituzte hegaldiaren hasieran, urdaila gasek igotzeko duten ezintasunagatik sortzen da. Gainera, mikrograbitarearen efektuek eduki gastrikoak urdail-hesteetako mukosarekin duen kontaktua aldatzen dutela uste da. Hala ere, likido zefalikoaren desplazamenduek, normalean ikusten den deshidratazioarekin batera, mugikortasun gastrointestinalari eragin diezaiokeela (31).

Inaktibitate kronikoaren efektuak iragaitza-denbora handitzen du eta mikroflora gastrointestinala potentzialki aldatzen du. Integritate gastrointestinala eta bakterioen oreka hobetu egin daitezke elikagai espazialean sartu ahal izateko aztertu beharko liratekeen probiotikoekin eta prebiotikoekin.

Aztertu da probiotikoek, ostalariari onuragarri eragiten dioten mikrobio-gehigarri gisa definitutakoek, hesteetako mikrobio-oreka hobetuz, mikrobiota kolonikoaren konposizioa aldatzen dutela, eta areagotu egiten direla bakterio-taldeak, hala nola Bifidobakterioak eta osasuna sustatzen duten propietateak dituzten Lactobaziloak (34).

#### 4.5.7 ESTRES OXIDATIBOA

Iraupen luzeko misio espazialean, tripulazioko kideek erradiazioarekiko esposizio nabarmen altua jaso dezakete. Giza gorputzean, eguzki-erradiazioak edo uhin-luzera txikiko erradiazio elektromagnetikoen (esaterako, gamma izpiak), Lurretik edo ingurune espazialean datozenak, ura zatitu dezakete erradikal aske erreaktiboak sortzeko. Erradikal libre erreaktibo horiek gorputzean erreakzionatu dezakete eta lipidoetan, proteinetan eta DNAn kalte oxidatiboak eragin dezakete. Oxidazio-kalteari buruzko datu berriek nabarmendu dute hegaldiaren ondoren areagotu egin dela (34).

Badirudi defentsa dietetikoek eta antioxidatzaileek zeregin babeslea dutela zelula muskularretan, lipidoei, azido nukleikoak eta proteinei lotutako kalte oxidatiboa murrizten baitute. Hala ere, ez da gomendatzen mikrograbitatean burdina-gehirriak ematea, globulu gorrien masa murrizteak eta, ondorioz, burdina-erreserbak handitzeak erradikal askeen sorrera areagotu dezaketelako (35).

#### 4.5.8 NUTRIZIOAREN EGINKIZUN PSIKOSOZIALA

Orain arte espazioan ikertu diren aldaketa psikologikoak eta portaera-aldaketak honako hauek dira: funtzio kognitiboaren eta memoriaren alterazioa (batez ere erritmo zirkadianoaren aldaketei dagokienez), misioaren arrakastak eragindako estres- eta antsietate-egoerak, hegaldi espazialean dauden arrisku fisikoen beldurra, isolamendu soziala eta espazio pertsonalaren murrizketa (36,37).

Dietak eragin modulatzailea izan dezake gogo-aldartean (38): B taldeko hainbat bitaminek gogo-aldartean edota funtzio kognitiboan eragina izan dezakete; folato-urritasunaren intzidentzia handia dago depresioan, eta folato-urritasuna duten paziente deprimituek folato administrazioari erantzuten dioten ikerketak daude literaturan. Beste kontu garrantzitsu bat da janariaren zaporeari, usaimenari, ikusmenari eta ehundurari emandako zentzumen-erantzunetako eragin handia dutela elikadura-lehentasunetan eta lurreko elikadura-ohituretan. Iraupen luzeko misioetan, dastamen-sentsazioaren alterazioak, zapore-urritasuna eta elikagaien erakargarritasuna kontuan hartu beharreko faktore gehigarriak dira energia-defizitak eta, ondorioz, gorputz-masaren galerak nutrizio-eskema egokien eta hobetuen bidez alderatzeko (31).

Tripulazioko kideek otorduei uko egin diezaiekete beren lanak betetzen direla ziurtatzeko; portaera hori misioaren arrakastarako onar liteke, baina, jakina, ez da egokia nutrizioaren

ikuspegitik. Kontuan izan behar da pertsonen balio kulturaletan oinarrituta eraikitzen dituztela elikagaiei buruzko pertzepzioak, sinesmenak eta jarrerak, eta faktore psikosozialek zehazten dituztela elikagai-aukerak (39).

## **5. ONDORIOAK**

Berrikuspen bibliografikoan oinarrituta, espazioko nutrizioari buruzko hurrengo ondorioak atera ditzakegu:

- Urteekin asko garatu da espazioko elikagai teknologia, bereziki elikagaiak arinak eta bizi erabilgarri luzeak izateko. Era berean, garrantzia eman zaio astronauten iritziari, hau da, espazioan jateko esperientzia atsegina bihurtu da, eta bidaiarientzat lehentasunezko zapora eta ehundurak dituzten elikagaiak egitea lortu da.
- Espaziorako elikagaiak ontziratze sistema desberdin anitz izan ditzakete. Bizitza erabilgarria bermatzeko metalezko lata hasierako aukerarik egokiena izan zen arren, gaur egun berrerabiltzeko poltsak eta film jangarriak dira goraipatzen direnak. Gainera, ontziratze modu berriak diseinatzen hasi dira ere.
- Mikrograbitate egoerak pertsonen fisiologian eragin garrantzitsua dauka. Egoki elikatzea eta jardura fisikoa mantentzea faktore inportanteak dira osasuntsu mantentzeko. Elikadura erronka nagusien artean kaltzioaren galera eta hezur-masaren murrizketa daude, hezurra galtzearen ondorioz, osteoporosia izateko arriskua handia delako, baita hegaldiaren ondoren ere.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Juan Antonio Gomar-Serranoa, José Miguel Soriano-Del Castilloa, Laura Bilbao-Cercósb. La alimentación en los viajes espaciales tripulados: desde el Programa Gemini hasta la ISS/Shuttle. *Rev Esp Nutr Hum Diet.* 2015;19(2):116-123.
2. Raúl Carrillo-Esper, Adriana Denise Zepeda-Mendoza. Aspectos de la nutrición en vuelos espaciales. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM.* 2017;60(6):47-50.
3. Helen W. Lane, Daniel L. Feedback. History of Nutrition in Space Flight: Overview. *Nutrition.*2002;18(10);797-804.
4. Salvatore Pelligra; Elizabeth A. Casstevens; Michael J. Matthews; Peter F. Edemekong. *Aerospace Health Maintenance Wellness.* 2022 [internet] [2022ko apirilaren 11n kontsultatua] Eskuragarri hemen: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441915/>.
5. Richard A. Scheuring, Jeffrey A. Jones, Joseph D. Novak, James D. Polk, David B. Gillis, Josef Schmid, James M. Duncan, Jeffrey R. Davis. The Apollo Medical Operations Project: Recommendations to improve crew health and performance for future exploration missions and lunar surface operations. *Acta Astronautica.* 2008;63:980-987.
6. Smith MC Jr, Rambaut PC, Stadler CR. Skylab nutritional studies. *Life Sci Space Res.* 1977;15:193-197.
7. Sharvari Raut, Sudiksha Hegde, Salil Modak, Dr Ramesh Bhande. Advancements in space food processing technologies. *IJRSR.* 2021;12:42033-37.
8. National Aeronautics and Space Administration. Space food and nutrition. NASA. 2021:17-18.
9. Maya Cooper, Grace Douglas, Michele Perchonok. Developing the NASA Food System for Long-Duration Missions. *Journal of Food Science.* 2011;76:40-48.
10. Space Food, Noodles & Chicken, Shuttle. National Air and Space Museum. 2022. [Internet] [2022ko maiatzaren 4an kontsultatua]. Eskuragarri hemen: [https://airandspace.si.edu/collection-objects/space-food-noodles-amp-chicken-shuttle/nasm\\_A20120177000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/space-food-noodles-amp-chicken-shuttle/nasm_A20120177000)
11. Dan Kendall. A Bite-sized History of Space Food. NSC. 2020. [Internet] [2022ko maiatzaren 4an kontsultatua]. Eskuragarri hemen: <https://spacecentre.co.uk/blog-post/a-bite-sized-history-of-space-food/>
12. Lyndon B, Johnson Space Center. Space food. *NASA Facts.* 2002;79:1-4.
13. Jiang J, Zhang M, Bhandari B, Cao P. Current processing and packing technology for space foods: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;60(21):3573-3588.

14. Grace L. Douglas, Raymond M. Wheeler, Ralph F. Fritsche. Sustaining Astronauts: Resource Limitations, Technology Needs, and Parallels between Spaceflight Food Systems and those on Earth. *Sustainability*. 2021;13:1-12.
15. Grace L Douglas, Sara R Zwart, Scott M Smith. Space Food for Thought: Challenges and Considerations for Food and Nutrition on Exploration Missions. *The Journal of Nutrition*. 2020;150:2242–2244.
16. Takiyah A. Sirmons, Peter G. Roma, Alexandra M. Whitmire, Scott M. Smith, Sara R. Zwart, Millennia Young, Grace L. Douglas. Meal replacement in isolated and confined mission environments: Consumption, acceptability, and implications for physical and behavioral health. *Physiology & Behavior*. 2020;219:428-430.
17. Hong Tang, Hope Hui Rising, Manoranjan Majji, Robert D. Brown. Long-Term Space Nutrition: A Scoping Review. *MDPI nutrients*. 2022;14,194:1-30.
18. T. P. Stein. Nutrition in the space station area. *Nutrition Research Reviews*. 2001;14:87-117.
19. Scott M. Smith, Helen W. Lane, Sara R. Zwart. Spaceflight Metabolism and Nutritional Support. *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. 2019;2:413–439.
20. Genah S, Monici M, Morbidelli L. The Effect of Space Travel on Bone Metabolism: Considerations on Today's Major Challenges and Advances in Pharmacology. *Int J Mol Sci*. 2021;22(9):1-17.
21. Canciani B, Ruggiu A, Giuliani A, Panetta D, Marozzi K, Tripodi M, Salvadori PA, Cilli M, Ohira Y, Cancedda R, Tavella S. Effects of long time exposure to simulated micro- and hypergravity on skeletal architecture. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2015;51;1-12.
22. Briguglio M. Nutritional Orthopedics and Space Nutrition as Two Sides of the Same Coin: A Scoping Review. *Nutrients*. 2021;13(2);483-510.
23. Swaffield TP, Neviasser AS, Lehnhardt K. Fracture Risk in Spaceflight and Potential Treatment Options. *Aerosp Med Hum Perform*. 2018;89(12);1060-1067.
24. Smith SM, Heer M. Calcium and bone metabolism during space flight. *Nutrition*. 2002;18(10);849-852.
25. Smith SM, McCoy T, Gazda D, Morgan JLL, Heer M, Zwart SR. Space Flight Calcium: Implications for Astronaut Health, Spacecraft Operations, and Earth. *Nutrients*. 2012;4(12);2047-2068.
26. Smith SM, Wastney ME, Morukov BV, Larina IM, Nyquist LE, Abrams SA, Taran EN, Shih CY, Nillen JL, Davis-Street JE, Rice BL, Lane HW. Calcium metabolism before, during, and after a 3-mo spaceflight: kinetic and biochemical changes. *Am J Physiol*. 1999;27;R1-10.
27. Smith SM, Wastney ME, O'Brien KO, Morukov BV, Larina IM, Abrams SA, Davis-Street JE, Oganov V, Shackelford LC. Bone markers, calcium metabolism, and calcium



- kinetics during extended-duration space flight on the mir space station. *J Bone Miner Res.* 2005;20(2);208-218.
28. Smith SM, McCoy T, Gazda D, Morgan JL, Heer M, Zwart SR. Space flight calcium: implications for astronaut health, spacecraft operations, and Earth. *Nutrients.* 2012;4(12);2047-68.
  29. Smith SM, Abrams SA, Davis-Street JE, Heer M, O'Brien KO, Wastney ME, Zwart SR. Fifty years of human space travel: implications for bone and calcium research. *Annu Rev Nutr.* 2014;34;377-400.
  30. Li G, Zhang L, Wang D, AlQudsy L, Jiang JX, Xu H, Shang P. Muscle-bone crosstalk and potential therapies for sarco-osteoporosis. *J Cell Biochem.* 2019;120(9);14262-14273.
  31. Cena H, Sculati M, Roggi C. Nutritional concerns and possible countermeasures to nutritional issues related to space flight. *Eur J Nutr.* 2003;42;97-110.
  32. Graebe A, Schuck EL, Lensing P, Putcha L, Derendorf H. Physiological, pharmacokinetic, and pharmacodynamic changes in space. *J Clin Pharmacol.* 2004;44(8);837-53.
  33. Chandra RK. Nutrition and the immune system: an introduction. *Am J Clin Nutr.* 2001;66(2);460-463.
  34. Sara R, Zwart, Ajitkumar P, Mulavara, Thomas J, Williams, Kerry George, Scott M, Smith. The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* 2021;127:307-331.
  35. Stein TP, Leskiw MJ. Oxidant damage during and after spaceflight. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000;278(3):375-382.
  36. Scott M, Smith, Sara R, Zwart, Gladys Block, Barbara L, Rice, Janis E, Davis-Street. The Nutritional Status of Astronauts Is Altered after Long-Term Space Flight Aboard the International Space Station. *The Journal of Nutrition.* 2005;135;437-443.
  37. Stein TP, Leskiw MJ, Schluter MD, Hoyt RW, Lane HW, Gretebeck RE, LeBlanc AD. Energy expenditure and balance during spaceflight on the space shuttle. *Am J Physiol.* 1999;276(2);1739-1748.
  38. Jessica J, Yamamoto, Elizabeth T, Brandley, Trina C, Ulrich. Flight attendant occupational nutrition and lifestyle factors associated with COVID-19 incidence. *Sci Rep.* 2021;11.
  39. Nestle M, Wing R, Birch L, DiSogra L, Drewnowski A, Middleton S, Sigman-Grant M, Sobal J, Winston M, Economos C. Behavioral and social influences on food choice. *Nutr Rev.* 2000;56;50-64.