



UNIVERZITA KARLOVA
I. lékařská fakulta

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Nutriční specialista

Bc. Anna Žabová

Výživa kosmonautů

Nutrition of astronauts

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.

Oponent: MUDr. Radka Petráková Doležalová, PhD.

Praha, 2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem řádně uvedla a citovala všechny použité prameny a literatury. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 20. 4. 2021

Anna Žabová

.....

Podpis

Identifikační záznam

ŽABOVÁ, Anna. Výživa kosmonautů. [Nutrition of astronauts]. Praha, 2021. 79 s. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Ústav tělovýchovného lékařství. Vedoucí práce Doc. MUDr. Vilikus, Zdeněk, CSc.

ABSTRAKT

Tato neexperimentální diplomová práce je zaměřena na výživu ve vesmíru a všechny aspekty s ní spojené. První část se zabývá fyziologií člověka v prostředí mikrogravitace. Jedná se o změny působící na muskuloskeletární, kardiovaskulární, trávicí, imunitní a centrální nervový systém, ale také důsledky z dlouhodobé izolace, uzavřeného prostoru a působení kosmického záření z hlediska nutričního profilu účastníků vesmírných misí. V druhé části je popsán potravinový vesmírný systém a zmapována sovětská (později ruská) a americká minulost, současnost a budoucnost z hlediska vývoje vesmírné výživy a potravin. Třetí část je zaměřena na fungování vesmírné medicíny a dietologie společně se zajímavými projekty a programy, které v minulosti pomohly či neustále napomáhají vylepšování vesmírných potravinových systémů a díky nim se stává budoucí osídlování vesmíru realističtější.

klíčová slova: výživa, výživa ve vesmíru, kosmická strava, kosmonaut, astronaut, vesmír

ABSTRACT

This non-experimental diploma thesis is focused on nutrition in space and all aspects associated with it. The first part deals with human physiology in microgravity. These are changes affecting the musculoskeletal, cardiovascular, digestive, immune and central nervous systems, but also the consequences of long-term isolation, confined space and cosmic radiation in terms of the nutritional profile of space mission participants. The second part describes the spacefood system and maps the Soviet (later Russian) and American past, present and future in terms of the development of space nutrition and food. The third part focuses on the functioning of space medicine and dietetics, together with interesting projects and programs that have helped or continue to help improve space food systems. Thanks to these programs, the future settlement of the universe will become more realistic.

keywords: nutrition, nutrition in space, spacefood, kosmonaut, astronaut, space

Poděkování

Tímto bych chtěla moc poděkovat doc. MUDr. Zdeňku Vilikusovi, CSc. za cenné rady, doporučení, vstřícnost a celkový odborný dohled nad mou závěrečnou diplomovou prací. Vážím si toho, že mě podpořil v tomto neobvyklém tématu a motivoval do další práce s tím spojené. Srdečné poděkování patří také mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu mého studia podporovali.

Obsah

1. Úvod	9
2. Fyziologie člověka mimo gravitaci	10
2.1. Muskuloskeletární systém	11
2.2. Kardiovaskulární systém a krevní oběh	12
2.3. Centrální nervový systém	12
2.4. Syndrom adaptace na prostor	13
2.5. Trávicí systém a příjem potravin	14
2.6. Imunitní systém	16
2.7. Izolace a uzavřené prostředí	16
2.8. Kosmické záření	17
3. Výživa ve vesmíru	19
3.1. Potraviny a jejich skladování	19
3.1.1. Termostabilizovaná strava	20
3.1.2. Ozářená strava	21
3.1.3. Rehydratovatelná strava	21
3.1.4. Přírodní forma	21
3.1.5. Chlebové výrobky a čerstvá strava	22
3.1.6. Nápoje	22
3.2. Farmaceutické zabezpečení	22
3.3. Recyklace vody	23
3.4. Ruská minulost	24
3.4.1. Program Vostok a Voschod	24
3.4.2. Program Sojuz	27
3.4.3. Vesmírná stanice Saljut	27
3.4.4. Vesmírná stanice Mir	29
3.5. Americká minulost	30
3.5.1. Program Mercury	31
3.5.2. Program Gemini	32
3.5.3. Program Apollo	32
3.5.4. Program Skylab	35
3.5.5. Program Space Shuttle	38
3.5.6. Program Apollo-Sojuz	39
3.6. Současnost	40
3.6.1. Program Shuttle-Mir	40

3.6.2.	Mezinárodní vesmírná stanice.....	41
3.7.	Budoucnost	44
3.7.1.	Stabilní potraviny bohaté na výživu.....	44
3.7.2.	Bezpečné vaření v částečné gravitaci	45
3.7.3.	Dodání vitamínů a minerálů	46
3.7.4.	Obalový materiál	46
4.	Dietologie a vesmír.....	47
4.1.	Vesmírná medicína.....	47
4.2.	Vesmírná dietologie	49
4.3.	Aplikace EveryWear	50
4.4.	Laboratoř nutriční biochemie NASA	51
4.5.	Laboratoř vesmírných potravinových systémů	52
5.	Zajímavosti.....	54
5.1.	HACCP a jeho historie	54
5.2.	Jídelní 3D tiskárny	55
5.3.	Mars 500	57
5.4.	HI-SEAS.....	57
5.5.	Pěstování rostlin ve vesmíru	58
5.6.	Program Artemis	60
5.7.	Projekt Marsonaut	61
5.8.	Projekt Eat like a Martian.....	61
6.	Diskuze	64
7.	Závěr.....	66
8.	Seznam použité literatury	67

Seznam zkratk

Seznam tabulek

Seznam obrázků

Seznam grafů

1. Úvod

Na první pohled výživa kosmonautů nezaujímá z pohledu cestování do vesmíru důležité místo, ale skutečnost je jiná. Kosmonautem se myslí každý člověk, který byl účastníkem kosmického letu a má své biologické potřeby jako všichni ostatní lidé. Konzumovat potraviny a tekutiny je vyžadováno i při vesmírných misích. Čím delší čas se člověk nachází mimo gravitační pole Země, tím je pro něj výživa důležitější. Narušení správného stravování a působení fyziologických změn vlivem mikrogravitace by mohlo ohrozit úspěšnost celé mise.

Výživě ve vesmíru a kosmické stravě jsem se začala věnovat s rostoucí popularitou a výzkumem osídlování míst mimo naše gravitační pole jako je Měsíc či Mars. K těmto budoucím cílům patří potřebné technické vybavení, ale také potravinový systém, který by zajistil potřebnou výživu pro všechny účastníky misí dlouhých i přes 5 let. Odborníci se snaží zabezpečit, aby potraviny a tekutiny splňovaly všechna vesmírná bezpečnostní kritéria včetně doby trvanlivosti i zvýšené náročnosti balení potravin pro malý úložný prostor lodi a zajistili tak kvalitní a vyváženou stravu.

Důležité je zmínit terminologii slov kosmonaut a astronaut. Dříve se kosmonautem označoval člověk, který letěl do vesmíru sovětskými (později ruskými) kosmickými loděmi. Astronauti byli naopak účastníci amerických letů. V dnešní době se již oba termíny sjednotily.

2. Fyziologie člověka mimo gravitaci

Během dlouhodobých vesmírných misí a působením mikrogravitace se u člověka může objevit řada fyziologických změn. Jedná se například o kosterní a svalové změny, kardiovaskulární změny, změny metabolických pochodů a účinků na gastrointestinální trakt (GIT). První byly na cestu mimo oběžnou dráhu Země vypravovány zvířata v rámci vědecko-technického výzkumu. Jednalo se například o fenku Lajku na palubě sovětské družice Sputnik-2 či opice Berek a Able při amerických pokusných letech. Díky tomu měli vědci před prvním letem člověka alespoň základní informace o tom, jakým bude fyziologický systém podléhat změnám. Při prodlužování doby trvání misí z několika dní na měsíce až rok se tyto škodlivé účinky působení mikrogravitace na člověka staly jasnějšími. Hlavními hrozbami se pro vesmírné lékaře a vědce stal úbytek hmotnosti, posun tekutin, dehydratace, zácpa, nerovnováha elektrolytů, ztráta vápníku a draslíku či snížené množství červených krvinek. Již od raných cest kosmonautů a astronautů, kteří vyrazili mimo oběžnou dráhu, bylo známo, že dalším problémem bude vyvarovat se syndromu adaptace na prostor (SAS) neboli vesmírné nemoci (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002). 50% až 75% vysoce vycvičených astronautů uvádí, že v prvních dnech letu tímto syndromem trpí. Jiní pociťují kombinaci bolesti hlavy, malátnosti, letargie, anorexie, nevolnosti, zvracení a žaludeční obtíže během prvních několika hodin v prostředí mikrogravitace navzdory používání různých léků (Zhang & Hargens, 2017).

Každý kosmonaut či astronaut musí před odletem projít řadou speciálních lékařských vyšetření, které se zaměřují na jeho zdravotní, ale i psychický stav. Vedle testů tělesné zdatnosti jsou důležité i testy inteligence. Každý si musí projít obtížným tréninkem, který ho připraví na všechny možné situace. Nejznámější simulací je nacvičování stavu beztlíže ve velkých vodních nádržích či nácvik přetížení na rotující centrifuze. Účelem je zjistit, zdali je daný člověk pro vesmírný let i práci ve vesmírné mikrogravitace dostatečně kompetentní. Dříve kromě dobrého zdravotního stavu museli členové posádky splňovat také určité fyzické požadavky. Jedná se především o tělesnou hmotnost (45-105 kg) a výšku (většinou okolo 152-183 cm). Výška byla určena pro velikost sedadel vozidla důležitého přesně na míru kvůli startu a návratu kosmické lodě. Vedle velké fyziologické zátěže astronauti a kosmonauti zažívají velkou stresovou zátěž. Často se během letu, ale i po návratu na Zemi, můžou objevit příznaky deprese a úzkosti, i když jsou při výběru výrazně selektováni pevní a odolní jedinci. Každý člen z posádky vesmírného letu má zajištěnou nejlepší možnou lékařskou péči po zbytek svého života (Lane & Schoeller, 2000).

Nedávná studie NASA s názvem Twin Study z roku 2019 vytvořila jedinečnou analýzu dvojice monozygotních dvojčat, která zkoumala změny související s vesmírnými lety na komplexnější úrovni, než bylo doposud možné. Tato studie vytvořila nejnovější technologický pokrok k vytvoření rozsáhlých molekulárních map buněčných a genetických změn, ke kterým u astronautů dochází. Jednalo se o změny DNA, RNA, proteinů, lipidů, metabolitů a mikrobiomu, což umožnilo nový pohled na to, jak záření, mikrogravitace, izolace a stres ovlivňují fyziologické aspekty astronauta (Iosim a kol., 2019).

2.1. Muskuloskeletární systém

Snížené gravitační zatížení má efekt na složení těla a vede ke svalové atrofii či ztrátě kostní hmoty. Bylo zjištěno, že během jednoho měsíce letu je ztraceno až 1 % kostních minerálů. Když se začaly vesmírné lety prodlužovat až na řády tří až šesti měsíců, polovina posádky po návratu na Zemi nebyla schopna chůze (Lane & Schoeller, 2000; Iosim a kol., 2019). Je tedy dlouhodobě známo, že časově náročné vesmírné lety indikují ztrátu BMD (bone mineral density), a proto je v této době již každý člen posádky NASA (Národní ústav pro letectví a vesmír) i ISS (Mezinárodní vesmírná stanice) sledován současnými standardy pro udržení zdraví pomocí kostní denzitometrie DXA. Další prevencí je navýšení doporučeného příjmu vápníku při vesmírných misích z 1000 mg/den až o 200 mg/den či zařazení pohybové aktivity na speciálních strojích pro fyzické cvičení v prostředí mikrogravitace. Jedná se například o šlapací stroj, běžecký pás, ergometr či pružinový posilovač svalů na ruku (Axpe a kol., 2020; Kubala, 2009).

Studie Nabaviho a kol., která zkoumala účinek mikrogravitace na kostní buňky osteoblasty a osteoklasty, uvedla, že osteoblasty vystavené pětidenní mikrogravitaci mají kratší a vlnitější mikrotubuly, méně fokálních adhezí a tenčí aktinová a stresová vlákna. Absence gravitačních sil způsobuje mimo snížené buněčné integrity osteoblastů i zvýšení resorpce osteoklastů, což má za následek již zmíněný urychlený úbytek kostní hmoty (Nabavi a kol., 2011). Po návratu na Zemi je zotavení kostí variabilní a může trvat roky, než se přiblíží hodnotám před výstupem a ačkoli byl na vesmírné stanici ISS nastaven přísný protokol svalového tréninku na speciálních strojích, parametry kostí zůstávají pod hodnotami před misí i 1 rok po návratu na Zemi. U astronautů vystavených dlouhému kosmickému letu se projeví zvýšené riziko časného nástupu osteoporózy, zvýšené křehkosti skeletu a zlomenin (Burkhart a kol., 2019; Vico a kol., 2017).

Co se týká svalové hmoty a působení vesmírné gravitace, nalézáme zde další výraznou hrozbu pro zdraví kosmonauta či astronauta. Na Zemi jsme vystaveni neustálému používání svalů opírající se o sílu gravitace, která je ve vesmíru nulová. Svaly začnou na nové prostředí téměř okamžitě reagovat. Namísto udržování obvyklé hmoty se lidské tělo začne přebytečných tkání automaticky zbavovat, proto je při absenci nosné činnosti nejzřetelnějším důsledkem právě svalová atrofie. To se odráží ve změnách velikosti a typu vlákna. Tento přechodový jev ovlivňuje mechanické vlastnosti svalu, což vede ke zvýšené rychlosti zkracování a ke snížené tuhosti svalu. Svalová ztuhlost je důležitými parametry při řízení pohybu a lze ji dále modulovat změnami nervové aktivity. Pokud k takovým změnám dojde během vesmírného letu, může se každodenní práce na vesmírné stanici stát kritickou a dojde k ohrožení celé mise. Během dlouhých vesmírných letů je jedním z hlavních řešení tohoto problému provádět fyzická cvičení na speciálně uzpůsobených strojích, která úbytku svalové hmoty zabrání. Další prevencí je individuální tréninkový plán kooperovat i se správnou výživou, která je neustále kontrolována a hodnocena lékaři a specialisty (Lambertz a kol., 2001).

2.2. Kardiovaskulární systém a krevotvorba

I když se zdá, že mikrogravitace sama o sobě nepředstavuje pro kardiovaskulární systém chronický stres, je známo, že jejím vlivem dochází k posunu tělních tekutin dopředu, což způsobuje maladaptivní změny, které ovlivní cévy a srdce (Iosim a kol., 2019). Snížený objem krve ve vesmíru je výsledkem negativní nerovnováhy příjmu tekutin a výdeje močí. Druhým důvodem jsou rychlé posuny tekutin z intravaskulárního do intersticiálního prostoru v důsledku nižšího transmuralního tlaku. Posledním důvodem je přechod tekutiny z intravaskulárního do intersticiálního prostoru svalů kvůli menšímu svalovému tonu potřebnému k držení těla. Ztráta erytrocytů navíc také snižuje objem krve (Diedrich, 2007). Po osmidenním letu z programu Gemini byly zaznamenány ztráty hmotnosti červených krvinek až v řádu desítek procent (Johnston a kol., 1975). Plazmatické hladiny proteinů klesají, což má dopad na kaskádu srážení krve a zvýšení biomarkerů kardiovaskulární zátěže (Iosim a kol., 2019). Do budoucna je velmi lukrativní vytvoření umělé gravitace na vesmírných lodích, která poskytne protiopatření proti nebezpečným kardiovaskulárním změnám (Paez a kol., 2020).

Vysoké gravitační zrychlení při vzletu vesmírné lodi je spojováno s řadou srdečních arytmií během tréninkového výcviku. Ačkoli to byly akutní, spontánně reverzibilní reakce, je třeba mít na paměti, že se vždy jednalo o mladé a zdatné jedince. Dopad vysokého gravitačního zrychlení na kardiovaskulární funkci pro běžnou populaci je stále neznámý a může být důvodem k obavám do budoucna. Menší poruchy srdečního rytmu byly zaznamenány v minulosti nejen při vzletu, ale i během vesmírných letů a jedná se opět o fyziologické adaptace, které jsou pár dní po vzletu samy napraveny (Lees, 2005). Při letu Apollo 15 byl zaznamenán u astronautů dokonce zvýšený výskyt arytmií. Byl přičítán nedostatku draslíku ve vesmírném potravinovém systému a při dalších letech byla tato problematika napravena (Douglas a kol., 2016).

Zajímavostí z hlediska krevotvorby je doporučení denní dávky hladiny železa pro cestování vesmírem 10 mg/den. Normální doporučené hodnotě na Zemi je 18 mg/den. Jedná se tak z důvodu změn ukládání v prostřední mikrogravitace (Perchonok & Bourland, 2002).

2.3. Centrální nervový systém

Vlivem mikrogravitace jsou nejvíce postiženy mozečkové, senzomotorické a vestibulární oblasti mozku (Van Omberger a kol., 2017). Dochází také ke zvýšení lebečního tlaku, který může vyvolat otok optického disku a podpořit tak vznik neurookulárního syndromu (SANS) spojeného s vesmírnými lety (Iosim a kol., 2019; Hienkelbein a kol., 2018). Tento fenomén je spojován s významnými změnami morfologie mozku, zejména při dlouhodobých letech astronautů a kosmonautů. Mezi příznaky patří snížená ostrost zraku, zrakové skotomy, bolesti hlavy a krátkozrakost. Ačkoli nebyla zjištěna žádná jasná příčina, jednou z nich může být vysoká přítomnost CO₂. Důkazem jsou počáteční hodnoty CO₂ na vesmírné stanici ISS kolem 7,6 ppm, což je 25x vyšší než hodnoty na Zemi. Později se hodnota snížila na 1,97 ppm, kdy se jedná o standardní prahovou hodnotu používanou v toxikologii a v kosmonautice. Jako prevence slouží

používání potravinových doplňků během letu. U členů posádky ISS je rutinně nasazeno několik párů brýlí, aby se zmírnily jakékoli hyperoptické posuny (van Loon a kol., 2020; Paez a kol., 2020). Studie z roku 2016 uvedla, že až 60% astronautů při dlouhodobých i krátkodobých misích zaznamenala zhoršení zrakové ostrosti na dálku i na blízko, přičemž některé z těchto změn zůstávají aktuální i roky po absolvování mise. Budoucí vyšetřování snad povede k dalším protipatřením, která lze použít k eliminaci nebo zmenšení rozsahu těchto potenciálně škodlivých nálezů před dlouhodobými kosmickými lety, včetně možnosti pilotované mise na Mars (Lee a kol., 2016).

Existují důkazy o poklesu rychlosti a přesnosti pohybu či obtíže s rozhodováním, pozorností a prostorovou pracovní pamětí. Většina astronautů potvrdila i problémy s náladou, deprese, úzkosti a podrážděnost. Vesmírná kinetóza postihne dokonce až 70% astronautů během prvního týdne na oběžné dráze (Iosim a kol., 2019). Je známo, že nervová adaptace se u jednotlivců velmi liší a může být ovlivněna několika faktory, jako jsou dematografie, genetika a fyzická aktivita (Van Ombergen a kol., 2017).

2.4. Syndrom adaptace na prostor

Syndrom adaptace na prostor (SAS) neboli vesmírná nemoc je porucha podobná pohybové nemoci, která postihuje až 50% členů vesmírných výprav vystavených mikrogravitaci. Výskyt a závažnost se u každého individuálně liší. Tento problém se poprvé objevil s vyvinutím větších vesmírných lodí, které umožňovaly astronautovi či kosmonautovi větší volnost pohybu, zejména pohybu hlavy, což způsobilo zvýšenou vestibulární stimulaci. Vysvětlovalo by to skutečnost, proč se s touto nemocí astronauti prvním vesmírných letů (Mercury, Gemini), kteří měli velmi stísněný prostor, nesetkali. Jedná se o opak pozemské pohybové nemoci (kinetóza), protože k ní dochází, když se prostředí a osoba vzájemně pohybují, ale z vestibulárního systému neexistuje žádný odpovídající pocit tělesného pohybu. Hlavními projevy jsou nevolnost a zvracení. Aby bylo možné lépe předvídat, předcházet a léčit vesmírnou pohybovou nemoc, zahájilo Johnsonovo vesmírné středisko (NASA) v roce 1981 rozsáhlou systematickou studii, kde byla shromažďována data od všech členů posádky programu Space Shuttle. Před každým letem byl astronaut podroben pohybovému vyšetření a laboratorním testům individuální náchylnosti k pohybové nemoci vyvolané simulací. Následně byla vyhodnocena účinnost léků pro tuto problematiku i spolu s významnými vedlejšími účinky. Během letu každý člen posádky zaznamenával denní údaje o svých pocitech či vestibulárních vjemech a užívání léků. Na základě výzkumů byla pohybová vesmírná nemoc rozdělena do několika kategorií (viz Tabulka 1). Díky preventivním opatřením se v dnešní době stala pohybová nemoc menší hrozbou pro vesmírné mise, než tomu bylo na začátku dobývání vesmíru. Astronauti se podrobí speciálnímu výcviku a jsou již lépe připraveni a odolní na stav mimo gravitaci. Pro podpoření absence nežádoucích stavů jsou prvních pár dnů mise konzumovány doporučené léky (Dobie, 2019; Kornilova & Kozlovskaya, 2003).

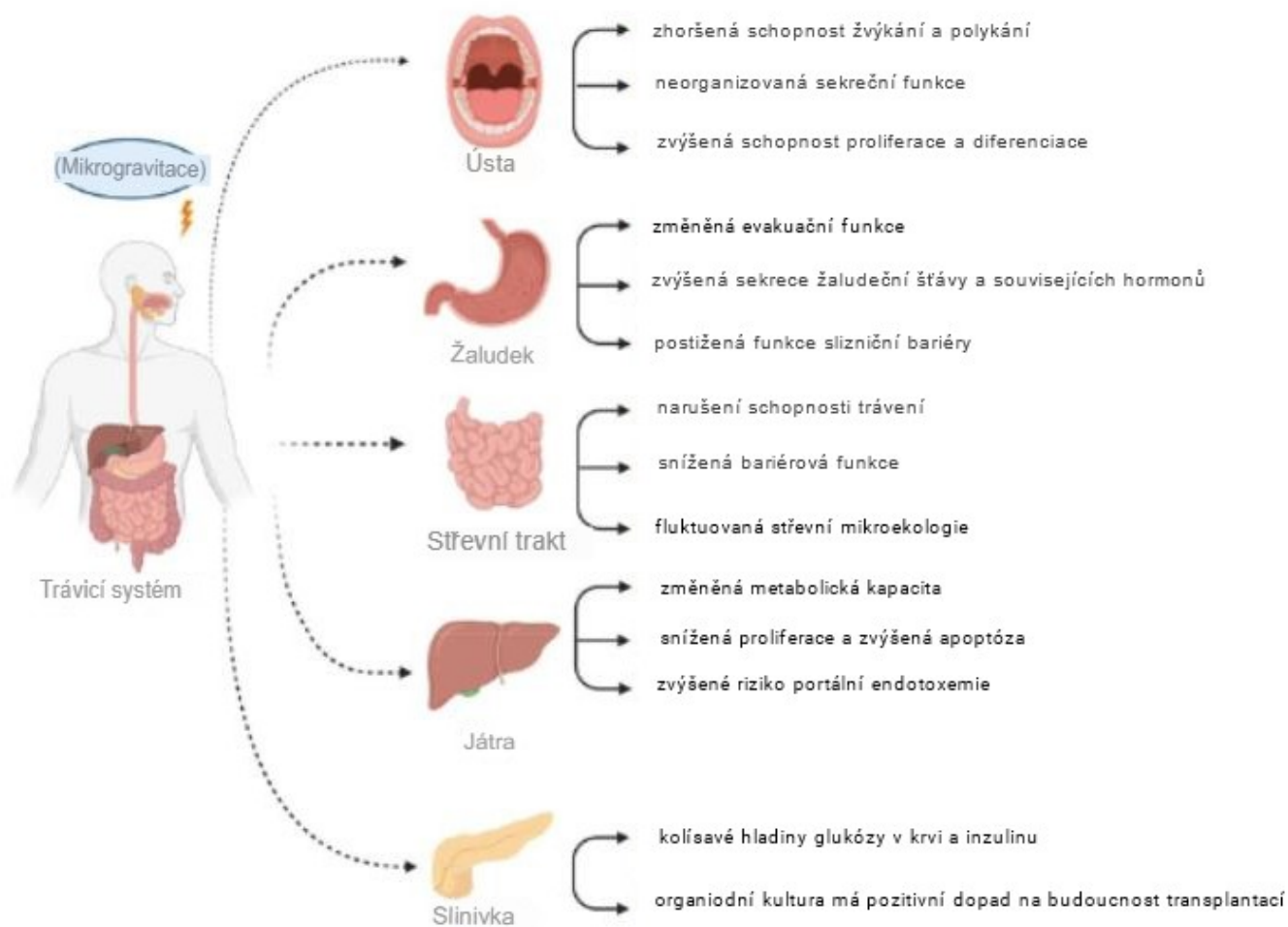
Stupeň postižení	Příznaky
Žádný (0)	nejsou hlášeny žádné příznaky s výjimkou mírné přechodné bolesti hlavy nebo snížení chuti k jídlu
Mírný (1)	příznaky výjimečné či přechodné, které jsou vyvolané v důsledky pohybu hlavy a jsou bez dopadu na běžný provoz, mohou být doprovázené občasným zvracením, vše vymizí do 36-48 h
Průměrný (2)	příznaky relativně perzistentní povahy, nechutenství, celková nevolnost, letargie, epigastrický dyskomfort, méně než dvě epizody zvracení, vše vymizí do 72 h
Těžký (3)	příznaky perzistentní povahy, nechutenství, žaludeční diskomfort, nevolnost a letargie jsou výrazné, snaha o nehybnost hlavy, více než 2 epizody zvracení, významné snížení výkonu, příznaky přetrvávají i po 72 h

(Dobie, 2019)

Tabulka 1: Kategorie vesmírné pohybové nemoci

2.5. Trávicí systém a příjem potravin

Snížený příjem energie a úbytek hmotnosti během kosmických letů naznačuje, že vesmírné prostředí má významný dopad na trávicí systém astronautů. Zajištění správného fungování trávicího systému v prostředí beztíže souvisí s fyzickým zdravím astronautů a úspěchem vesmírných misí, které absolvují (Yang a kol., 2020). Při stavu mikrogravitace bylo pozorováno snížení trávicí kapacity střevního traktu a zrychlil se stav vyprazdňování, což znamená, že se v prostoru beztíže zvýšila permeabilita GIT a snížila funkce slizniční bariéry (Afonin a kol., 2011). Například při sovětském letu Saljut bylo zjištěno, že po prvním dni mise dojde ke znatelné změně zvýšené aktivity žaludečního pepsigenu a pankreatické lipázy. Tento stav je ale normalizován do 25. dne letu (Selina, 1989). Mikrogravitace může také ovlivnit stav pankreatu a metabolismus glukózy (Yang a kol., 2020). Dle studie od Barzegari a Saei byla také prokázána zvýšená odolnost určitých střevních mikrobů vůči antibiotikům. Tento jev zvyšuje náročnost léčby infekcí v mikrogravitačním prostředí. Účastníkům kosmického letu se tak doporučuje konzumovat pravidelný příjem probiotik, aby byla udržena rovnováha střevní mikroflóry (Barzegari & Saei, 2012).



(Yang a kol., 2020)

Obrázek 1: Vliv mikrogravitace na trávicí systém

Podle několika provedených studií se astronautům při letu mění čichové a chuťové smysly a je hůře rozeznávána chuť sladká, slaná, kyselá a hořká. Zajímavostí je, že ve stavu beztlíže nestoupá vůně pokrmů vzhůru jako v pozemských podmínkách, a proto kosmonauti nemohou jídlo vychutnávat současně čichem. Tuto komponentu je pak třeba nahradit intenzivnější chuťovou složkou, jako je například česneková pasta, majonéza, hořčice či ostré omáčky (Lane & Schoeller, 2000).

Chuť funguje jako systém vnímání makroživin a spolu s texturou určuje dobu orální expozice, zatímco vůně spouští proces nasávání a vyvolává chuť k jídlu. Díky tomu je chuť nej důležitějším determinantem kvality, což se ukázalo během misí Mercury v letech 1961-1963. Jídlo sloužilo pouze jako nutriční složka a nemělo žádný vizuální ani chuťový charakter (hliníkové tuby, kostky ve velikosti kousnutí) a astronauti se z mise vraceli podvyživeni (Cahill & Hardiman, 2020).

2.6. Imunitní systém

Dopad vesmírných letů na imunitní systém byl rozsáhle zkoumán během vesmírných misí a v modelových experimentech prováděných na Zemi. Data přesvědčivě naznačují, že prostředí kosmických letů může ovlivnit vývoj získané imunity a imunitní odpovědi. Lymfocyty hrají ústřední roli v imunitních reakcích. Téměř všechny lymfocyty jsou původně odvozeny z hematopoetických kmenových buněk v kostní dřeni. Vesmírný let může ovlivnit počáteční vývoj lymfocytů, jejich antigen-specifické reakce či vývoj lymfocytární imunologické paměti a tím narušit získané imunitní odpovědi. Vzhledem k tomu, že během kosmických letů je indikováno mnoho druhů změn prostředí a stresorů, může každý faktor přímo narušovat počty a funkce imunitních buněk prostřednictvím jednotlivých mechanismů. Gravitační změna je jednou z typických událostí, ke kterým dochází během vesmírných letů a může ovlivnit imunitní systém přímými i nepřímými mechanismy prostřednictvím indukce stresových hormonů (Akiyama a kol., 2020).

Neexistují žádné zprávy o tom, že by se u astronautů během letu do vesmíru nebo po návratu objevily závažné infekční nemoci, ale není jasné, zda dlouhodobé vystavení nepřetržité mikrogravitaci může infekční onemocnění podpořit. Astronauti, kteří jsou vybráni pro cestování vesmírem, jsou duševně i fyzicky zdraví, tudíž je vysoce pravděpodobné, že modulace imunitního systému v důsledku gravitačních výkyvů může být ovlivněna jejich robustností a homeostatickými mechanismy. Alternativně může mít imunitní systém stále dostatečnou rezervu až do nástupu závažné infekce (Mehta a kol., 2013).

Kromě narušených imunitních odpovědí může vesmírný let ovlivnit nástup a progresi imunologických stavů. Jedná se například o alergii či autoimunitní onemocnění. Někteří astronauti během letu pociťují příznaky podobné alergii, jiní uvádějí přítomnost kožní vyrážky a přecitlivělost. Tyto zprávy naznačují dysregulaci imunitních a zánětlivých reakcí v prostředí vesmírných letů. Mechanismy, které jsou základem této dysregulace zůstávají nejasné. Rizikovými faktory pro tyto příznaky mohou být různé stresory, tudíž je možné, že psychický stav během kosmických letů nepřímo přispívá k jejich vzniku či progresi. Doposud neexistují žádné jasné důkazy, které by potvrzovaly, že by vesmírné lety byly spojeny s rizikem rozvoje autoimunitních onemocnění (Akiyama a kol., 2020).

Crucian a kol. zkoumali řadu potenciálních imunitních protiopatření včetně cvičení, zvládnání stresu, léků a výživy či výživových doplňků. Velice výhodná se jeví preventivní konzumace probiotik a prebiotik, které podporují střevní mikrobiom s pozitivním vlivem na imunitní složku organismu člena vesmírné posádky (Crucian a kol., 2018).

2.7. Izolace a uzavřené prostředí

Kromě fyzických změn mohou členové posádky podstoupit také psychologické změny. Jedná se o problémy se spánkem, osamělost a úzkost, podrážděnost, pocit kritiky vůči ostatním, komplexy nadřazenosti, snížená morálka, problémy s individuálním přizpůsobením a špatná koncentrace či psychomotorika (Perchonok & Bourland, 2002). Důležité pro celkovou úspěšnost mise je dodržování cirkadiálních rytmů posádky. Udržování bdělosti a čilosti posádky během kosmických operací je vnímáno jako jeden z klíčových faktorů výkonnosti. Lidský spánek

je adaptován na 24h cyklus, střídání dne a noci včetně střídání aktivity a odpočinku. Například na Mezinárodní vesmírné stanici jsou členové posádky vystaveni umělému osvětlení, které pomáhá simulovat prostřední na Zemi, protože zde chybí běžné časové ukazatele, jako například sluneční svit či změna klimatu. Podle dostupných výzkumů je spánek ve vesmíru kratší, neklidnější a přerušovanější. Ke změnám v cirkadiálních rytmech a ke snížení optimální délky spánku může přispět náročný program, emoční vypětí a stres, vesmírná nemoc či nevolnost, kontinuální hluk, teplotní dyskomfort, nepohodlné spací pytle bez gravitačního ukotvení, ale i nedostatek soukromí. Nastartování spánkového deficitu může způsobit závažnější psychologické, ale i fyziologické komplikace a ohrozit tak celou misi. Nedostatek spánku má vliv na únavu, pozornost, výkonnost, zdraví, duševní pohodu a celkovou bezpečnost posádky (Šolcová Poláčková, 2012).

V roce 2007 proběhla studie, ve které se zkoumaly psychologické zkušenosti ruských kosmonautů, kteří se účastnili dlouhodobých vesmírných misí. Všech 11 zúčastněných se shodlo, že mezi nejčastější důvody psychologických a interakčních problémů patří vnímaný pocit obrovské izolace, monotonie, prodlužující se komunikační prodlení, záležitosti související s vedením posádky, rozdíly mezi styly organizace jednotlivých vesmírných agentur či nepochopení v multikulturní posádce (Nechaev a kol., 2007). Za účelem monitorování vztahů v posádce začala být od 90. let 20. století používána metoda sociomapování. V roce 2010 se uskutečnila doposud nejrozsáhlejší mezinárodní studie zaměřená na sociomapování s názvem Mars 500. V moskevském pozemním experimentálním komplexu šestičlenná posádka simulovala prostředí kosmické lodě letící na Mars. Byl zkoumán vliv dlouhodobého pobytu malé skupiny lidí v extrémních podmínkách na jejich psychiku a zdraví. Posádka tvořená multikulturním zastoupením strávila v rámci tohoto výzkumu 520 dní v naprosté izolaci. Záměrem tohoto projektu bylo pochopení a zároveň prevence rizik spojených s dlouhodobými vesmírnými lety. Výstupem byla skutečnost, že i přes důkladnou psychologickou analýzu před odletem, není možné chování jedince odhadnout. Existují obrovské individuální rozdíly, jak se lidé s takovou situací vypořádají (Bahbouh a kol., 2014).

Příkladem, jak se na vesmírné stanici ISS vyvarovat psychickým obtížím je volná sobota a neděle. V tyto dny mají členové posádky na práci jen minimální obsluhu strojů a mohou kontaktovat rodinné příslušníky na Zemi (Koubala, 2009). Důležitý je z tohoto hlediska i potravinový systém, který poskytuje posádce nejen potřebné živiny pro přežití, ale také zvyšuje pohodu posádky tím, že je známým prvkem v neznámém prostředí (Perchonok & Bourland, 2002).

2.8. Kosmické záření

Přesné posouzení rizik poškození zdraví astronautů při dlouhodobých vesmírných misích je pro průzkum vesmíru zásadní. Jedním z hlavních rizik je ionizující záření z galaktických kosmických paprsků (GCR) mimo ochranné účinky magnetického pole Země (Seed a kol., 2002; Beheshti a kol., 2018). Zatímco na Zemi je průměrný člověk vystaven za rok hodnotě záření 3 mSv, za jeden rok na Měsíci tato hodnota stoupne na 100-350 mSv v závislosti na slunečních podmínkách. Některá nebeská tělesa, jako například měsíc Titan, by astronauta vystavila za jeden

den letálním limitům záření (více než 5000 mSv). Záření poškozují DNA, RNA, proteiny či lipidy a zvyšuje celkový oxidační stres v buňkách. Přestože byly zdravotní účinky akutního ozáření komplexně studovány, o účincích chronického ozáření astronautů účastnících se dlouhých misí mimo oběžnou dráhu Země je známo mnohem méně. Hlavními obavami z radiace jsou patologické vaskulární změny, genetické mutace, imunitní dysfunkce či rakovina. Z tohoto důvodu byly pro každého astronauta stanoveny kariérní limity, které nesmí během svého života přesáhnout (Iosim a kol., 2019). Za posledních 20 let se hodnocení rizik spojených s kosmickým zářením zaměřovalo hlavně na karcinogenní onemocnění. Kosmické záření dle studií poškozují DNA a vyvolá genetické karcinogenní změny. Například v jádrech buněk vystavených kosmickému záření byla detekována poškození jako dvouřetězcové zlomy či detekování zvýšené frekvence chromozomálních aberací v lymfocytech (Akiyama a kol., 2020). Radiační expozice ve vesmíru kosmickým zářením lze snížit pečlivým plánováním misí a konstruktivními opatřeními, například poskytnutím radiačního krytu, ale nelze se mu úplně vyhnout. Radiační pole má prostorové a časové variace v závislosti na magnetickém poli Země a slunečním cyklu. Složitost radiačního pole uvnitř kosmické lodi se dále zvyšuje interakcí vysokoenergetických složek s materiálem stíněné kosmické lodě a tělem astronautů (Reitz, 2008). Pokud se v budoucnu prodlouží doba trvání vesmírných misí až na několik desítek let, vystavení kosmickému záření bude pro členy posádky znamenat velké riziko. Mezi hlavní důsledky záření patří karcinogeneze, účinky na CNS vedoucí k potenciálnímu poškození kognitivních funkcí, neurologickým poruchám, onemocněním oběhového systému a srdce nebo snížení imunity (Simonsen a kol., 2020).

3. Výživa ve vesmíru

I když to na první pohled není natolik zřejmé, výživa ve vesmíru má nezastupitelnou úlohu. Pokud nebude astronaut či kosmonaut po dobu svého vesmírného letu dostatečně živěn, může ohrozit nejen své zdraví, ale i úspěšnost celé mise. V této kapitole bude popsán kosmický potravinový systém a jeho zmapování z hlediska sovětské (či ruské) a americké minulosti, současnosti, ale i budoucnosti, před kterou stojí plno výzev. Přijatelnost potravinového systému má u vesmírných letů velmi důležitý význam a to nejen proto, že snížený příjem energie může výrazně ohrozit život posádky. Jídlo poskytne nejen potřebnou výživu, ale čas na jídlo zajistí významnou událost socializace (Perchonok & Bourland, 2002).

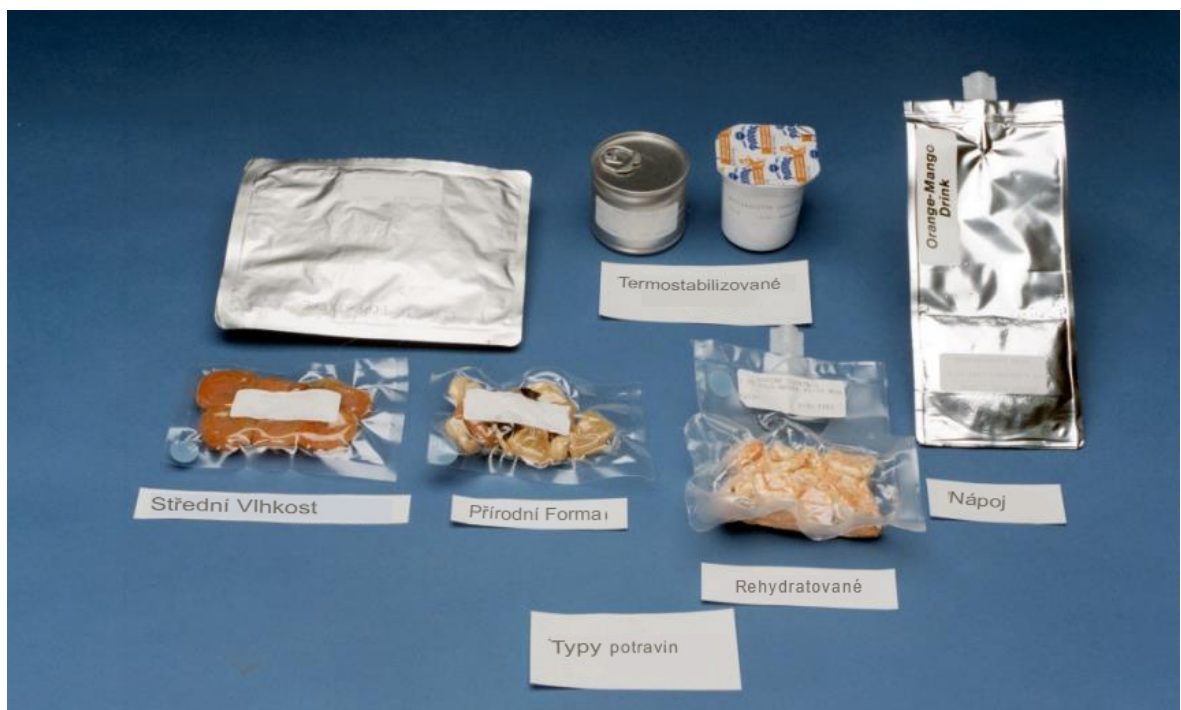
Říkalo se, že potraviny, které museli konzumovat raní astronauti či kosmonauti ve vesmíru, svědčí o jejich odvaze (NASA, 2019). Tato domněnka vznikla na základě skutečnosti, že vesmírné jídlo ve svých prvopočátcích splňovalo spíše nutriční požadavek, ale chuťově nebylo příliš pestré. Trvalo několik let výzkumů a pokusů, dokud se členové posádek vesmírných letů přestali vracet na Zemi s nebezpečnými zdravotními komplikacemi způsobenými nedostatečnou výživou. Důležité je také zohlednit neadekvátní hygienické zázemí a omezení kapacity pro skladování potravin, které podpořily rozvoj diet s omezeným obsahem vlákniny snižující fekální výdej (Lane & Schoeller, 2000).

Zajímavostí je, že doporučený příjem bílkovin, sacharidů a tuků pro vesmírné lety se u sovětských kosmonautů a amerických astronautů výrazně lišil. Hodnoty některých minerálních prvků (fosfor, sodík, železo) byly také například ve stravě kosmonautů výrazně vyšší (Selina, 1989). NASA se s vytvořením společných projektů podařilo hodnoty sjednotit.

3.1. Potraviny a jejich skladování

Kolektivní úsilí techniků, lékařů a mikrobiologů vytvořilo po dobu více než 30let různé formy, typy a skupiny potravinářských výrobků speciálně uzpůsobených pro vesmírné mise. Potraviny musí splňovat určité požadavky. Nesmí svými částmi kontaminovat vesmírnou loď, musí vyhovovat sníženému úložnému prostoru a splňovat nutriční i senzorické vlastnosti (Selina, 1989). Pro kosmické potravinové systémy byl na žádost NASA v 60. letech 20. století poprvé navržen systém Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) s cílem předcházet alimentárním nemocem astronautů. Používání HACCP, správných výrobních postupů, standardních provozních postupů a testování hotových výrobků u zpracovaných a balených potravin, by mělo zabránit nemocem přenášených potravinami během vesmírného letu. Vzácný výskyt kontaminovaných potravin na Mezinárodní vesmírné stanici nasvědčuje, že se vždy malé riziko nemoci přenášené potravinami nachází, a proto je nutné tuto problematiku zohlednit. Posádka je speciálně vyškolená, aby identifikovala nafouklé a zkažené potravinové balíčky a nekonzumovala je. Tato forma analýzy však není vždy objektivní a potravinová kontaminace by mohla ohrozit celou misi (Douglas a kol, 2016).

Hlavním hlediskem v kvalitě jídla je to, jak ho vnímá posádka. V současné době jsou letové potraviny hodnoceny pomocí sensorické analýzy pro přijatelnost panelem tvořící 30 nebo více spotřebitelů. Produkty jsou hodnoceny na základě vzhledu, chuti, textury a aroma pomocí 9 bodové hedonické stupnice. Pro účastníky vesmírného letu se doporučuje široká škála potravin, která posádce umožní výběr a zabrání monotónnosti. Pokud se potraviny obtížně připravují či konzumují, jejich celková přijatelnost se sníží (Vickers, 1999). Aby produkty mohly být zahrnuty do systému vesmírných potravin, musí získat celkové skóre nejméně 6 (Douglas a kol., 2016). V kosmických programech NASA bylo použito několik druhů obalů na potraviny a nápoje, které se postupem času vyvíjely, ale skladovací prostředí bylo prakticky konstantní. Strava ve vesmíru se dělí na termostabilizované potraviny, ozářené potraviny, rehydratovatelné potraviny, potraviny v přírodní formě, chlebové výrobky s prodlouženou trvanlivostí, čerstvé potraviny a nápoje (Cooper a kol., 2011).



(NASA, 2019)

Obrázek 2: Různé druhy vesmírných potravin

3.1.1. Termostabilizovaná strava

Tento proces, známý také jako retortový, ohřívá jídlo na teplotu, díky níž se zbaví patogenů, znehodnocujících mikroorganismů a aktivity enzymů. Termostabilizované produkty NASA zahrnují polévky, přílohy, dezerty, pudinky a předkrmy. Většina ovoce a ryb je zpracována v konzervách a moučníky jsou baleny do plastových kelímků. Zpracované potraviny potom lze uchovávat při pokojové teplotě. S výjimkou projektu Skylab na žádném vesmírném vozidle v USA nelétala chladnička ani mraznička a proto je tento druh potravin žádoucí (Cooper a kol., 2011).

3.1.2. Ozářená strava

Ozařování se obvykle nepoužívá ke zpracování potravin na komerční sterilitu, ale NASA obdržela speciální výjimku od Úřadu pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) za účelem přípravy devíti ozářených masných položek (Cooper a kol., 2011). Ozáření zahrnuje použití paprsků gama, rentgenových paprsků či elektronů a využívá energetické úrovně, které zajišťují záporné hodnoty indukce radioaktivity v ozářeném produktu. Řídí přirozeně se vyskytující procesy jako je zrání nebo stárnutí ovoce a zeleniny a je účinný při inaktivaci znehodnocujících patogenních organismů. Jedná se například o potraviny z hovězího masa, které jsou zabaleny do sáčků z měkké fólie a sterilizované ionizujícím zářením, aby je bylo možné uchovávat při pokojové teplotě (Douglas a kol., 2016).

3.1.3. Rehydratovatelná strava

K dispozici je řada technologií, které umožňují sušení potravin. Jedná se o sušení teplem, osmotické sušení a lyofilizaci. Tyto procesy snižují vodní aktivitu potravin, což vede k neschopnosti rozrůstání mikroorganismů. Potraviny mohou mít při správné skladovatelnosti trvanlivost až 24 měsíců. Skladování potravin usnadňuje z nich odstraněná voda. Tato strava zahrnuje i nápoje jako je čaj, káva nebo pomerančový džus. Jedná se o komerčně i interně zpracované lyofilizované potraviny, které jsou během mise rehydratovány dodávkami pitné vody. Příkladem jsou i přílohy jako například pikantní zelené fazole nebo cereálie. Posádce je k dispozici okolní horká voda pro rehydrataci těchto položek. Bezpečná výroba rehydratovatelných potravin závisí na preventivních postupech, jako je použití vysoce kvalitních surovin, čisté povrchy a postupy bezpečné manipulace, které zabrání mikrobiální kontaminaci během zpracování. Kosmická posádka je vyškolená, aby nekonzumovala potraviny do dvou hodin od rehydratace, protože jejich podmínky mohou umožnit růst mikroorganismů (Cooper a kol., 2011; Douglas a kol., 2016).

3.1.4. Přírodní forma

Potraviny v přírodní formě jsou komerčně dostupné a skladovatelné. Vlhkost potravin se pohybuje od nízké (mandle, arašídy) až po střední (sušenky, sušené ovoce), ale všechny mají sníženou aktivitu vody, aby se zabránilo mikrobiálnímu růstu. Tato forma jídla pomáhá v nabídce kosmického potravinářského systému poskytnout známé možnosti a další rozmanitost jídelního lístku, které navíc nevyžadují čas na přípravu. Potraviny v přírodní formě mohou mít při správném balení ve vakuově uzavřených metalizovaných sáčcích trvanlivost až 18 měsíců (Cooper a kol., 2011; Douglas a kol., 2016).

3.1.5. Chlebové výrobky a čerstvá strava

V rámci chlebových výrobků s prodlouženou trvanlivostí se jedná například o koláčky, vafle, tortilly nebo dokonce rohlíky, které lze zpracovat tak, aby jejich trvanlivost dosahovala až 18 měsíců. Pro členy posádky jsou příjemným zpestřením vesmírné stravy a přiblížením stravě pozemské (Cooper a kol., 2011).

Z hlediska čerstvé stravy se jedná o ovoce a zeleninu, které mají krátkou trvanlivost a jsou poskytovány omezeně a spíše pro psychologickou podporu než jako prostředek ke splnění stravovacích požadavků. Potravinové výrobky pocházejí od dodavatelů certifikovaných HACCP a desinfikovaných podle komerčních protokolů o mytí chlórem (Douglas a kol., 2016).

3.1.6. Nápoje

Nápoje používané při kosmických letech a misích jsou většinou lyofilizované směsi. Jedná se o mrazem sušené přípravky (káva, čaj) či ochucené prášky (limonáda, pomerančový nápoj). Nápojové směsi se zváží a poté vakuově uzavřou uvnitř nápojového sáčku (Cooper a kol., 2011; Douglas a kol., 2016).

Zajímavostí je také souboj kolových nápojů Coca Cola a Pepsi, které soupeřily o dobytí vesmíru v tzv. kolové válce v letech 1981. Obě společnosti musely vynalézt nové speciální nádoby pro konzumaci syceného nápoje mimo gravitaci, které udrží nápoj šumivý i po otevření. Členové posádky raketoplánu Challenger v roce 1983 ochutnali a následně ohodnotili oba nápoje. Těsným vítězstvím se může pyšnit právě Coca Cola. Nic zásadního se tímto experimentem nezjistilo a dle smíšené recenze a nebezpečí způsobené únikem sycené kapaliny do prostoru se NASA rozhodla sycené limonády do běžného jídelníčku ve vesmíru nezahrnout (Wilford, 1987).

Co se týče kávy, donedávna si mohli astronauti a kosmonauti ve vesmíru dopřávat pouze instantní kávové nápoje. V letech 2015 ovšem společným úsilím firem Argotech a Lavazza v partnerství s Italskou kosmickou agenturou vznikl pro Mezinárodní vesmírnou stanici speciální kávovar ISSpresso, který připraví pravou italskou kávu. Nápoj je připravený do speciální nádoby využívající kapilaritu pro dopravení tekutiny do úst v prostředí mikrogravitace (Howell, 2014).

3.2. Farmaceutické zabezpečení

Poskytnutí efektivní lékárny pomáhá členům vesmírných posádek zvládat plánované i nepředvídatelné zdravotní stavy, které mohou během letu nastat. Schopnost poskytnout posádce bezpečnou a účinnou lékárnu závisí na mnoha faktorech. Jedním z nich je stabilita léků po dobu trvání mise, ale také účinnost léku v jedinečném vesmírném prostředí. Neexistuje dostatek důkazů o farmaceutické stabilitě ve vesmíru a to především proto, že tato problematika historicky nepředstavovala pro lidské vesmírné lety naléhavý problém. I na vesmírné stanici ISS posádky spoléhají na dostupnost léků prostřednictvím vyřazení léčivých přípravků s vypršenou

platností a častým doplňováním, místo aby se potýkaly s otázkami degradace léčiv, skladování a odpadu. Výsledkem je, že investice do systematického sběru dat pro charakterizaci užívání léků, účinnosti, vedlejších účinků, farmakokinetiky, farmakodynamiky a dlouhodobé stability mají nižší prioritu než jiné investice do zdraví a lidské výkonnosti. S prodlužováním délky misí tento problém nabírá na intenzitě. Jedno potenciální riziko pro farmaceutickou stabilitu vyplývá z dlouhodobé expozice kosmického záření. Není podloženo, zdali dlouhodobé vystavení kosmickému záření může ovlivnit stabilitu léku, pozměnit přísady léčivých přípravků nebo produkovat potenciálně toxické vedlejší produkty (Blue a kol., 2019).

3.3. Recyklace vody

Přítomnost vody je základním požadavkem pro existenci jakéhokoli živého organismu. Pitné vody je při vesmírných misích z pochopitelných důvodů nedostatek. V minulosti byla na vesmírné stanici voda pouze dopravována ve speciálních kontejnerech zvaných Contingency Water Containers (CWC) o objemu 44 litrů. Zásobování vodou se ukázalo jako velmi drahá záležitost, cena pouhého litru pitné vody se vyšplhá až na 650 000 korun. Vesmírný výzkum zaměřil svou pozornost na vývoj systému, který by se zvládl postarat o recyklaci vody odpadní. Za odpadní vodu je v těchto podmínkách považována vlhkost ze vzduchu, ale také moč astronautů (Bonasso, 2001). Systém pro obnovu vody s názvem Water Recovery System (WRS) shromažďuje v zásobnících odpadní vodu z toalety a atmosféry a pomocí filtrů či destilace z ní vyrábí vodu k pití a k přípravě pokrmů. Předtím, než astronauti vodu zkonsumují, prochází tekutina čidly, které kontrolují její kvalitu. V případě, že je voda nevyhovující, vrací se zpět do čistícího cyklu (Kubala, 2009).

3.4. Ruská minulost

Sověti založili své první vesmírné programy již před rokem 1961. Sovětský kosmický program je předchůdcem dnešního Roskosmosu (Státní korporace pro kosmické aktivity) a přinesl řadu prvenství v dobývání vesmíru. Jednalo se o první vypuštěnou družici do vesmíru či prvního člověka mimo gravitační pole Země. V roce 1966 se rozběhl tajný sovětský lunární program, který měl dopravit člověka na Měsíc dříve než Spojené státy. Ačkoli měl sovětský kosmický program zpočátku navrch před NASA, kvůli ekonomickým problémům a řadě organizačních problémů svůj náskok ztratil. Z pohledu výživy vědci provedli řadu studií týkající se asimilace živin a zvýšení nutričních potřeb během dlouhodobých misí. V sovětských vesmírných programech dostává výživa důležité místo. Kosmonauti přijímají nekonvenční potraviny a rostlinné výtažky, aby odolávali stresu a zvyšovali svou výdrž. Pro zajímavost jsou v Tabulce 2 uvedeny rozdíly v konzumaci potravin, nápojů a výživových doplňků mezi sovětskými kosmonauty a americkými astronauty v prvopočátcích tvorby vesmírných potravinářských systémů (Selina, 1989).

Potraviny, nápoje, doplňky	Kosmonauti	Astronauti
rostlinné extrakty	používají se ke zvýšení odolnosti proti stresu	nepoužívají se
česnek	používá se jako dochucovadlo	nepoužívá se
vodka a brandy	malé množství	nepoužívá se
čerstvé ovoce a zelenina	pravidelné doplňování nákladní kosmickou lodí	na začátku mise, nedoplňováno
cibule, kopr, petržel	pokus o pěstování na palubní zahradě	nepoužívá se
multivitamin	suplementován 2x denně	volitelný
esenciální AMK (methionin)	suplementováno	nepoužívá se
kyselina glutamová	suplementováno	nepoužívá se

(Selina, 1989)

Tabulka 2: Rozdíly v konzumaci potravin z roku 1989

3.4.1. Program Vostok a Voschod

Program Vostok

Program Vostok byl první sovětský projekt kosmických letů s lidskou posádkou. Byl zaměřen na ověřování letových zařízení a lékařském výzkumu při prodlužování letů ve stavu beztlíže. První kosmický let tohoto programu se uskutečnil v roce 1960, ale až o rok později let poprvé proběhl s přítomností kosmického pilota. Jednalo se o kosmonauta J. A. Gagarina, který se zapsal

do historie jako 1. člověk, který vzlétl do vesmíru. Kosmonaut s lodí Vostok 1 obletěl Zemi a po 108 minutách opět přistál. Z hlediska nutričního výzkumu měl Gagarin na palubě 9 potravinářských výrobků s velmi omezenou dobou trvanlivosti. Tímto prvním pokusem o konzumaci potravin v nulové gravitaci byly vyvráceny počáteční obavy ohledně schopnosti polykání. Lety se postupně prodlužovali až na finální nejdelší let v roce 1963 s kosmickou lodí Vostok 5, který trval 5 dní. Potraviny použity při letech byly baleny do dávkovacích tub a zahrnovaly polévky, sýr a nápoje jako kakao, káva a džus. Složení potravinových dávek se s každou misí měnilo a postupně vylepšovalo z tekutější konzistence (pyré z tub) na pevnější jídlo kosmonautem lépe tolerováno. Pozdější lety zahrnovaly také sortiment potravin pro zvýšení nutriční hodnoty v podobě doplňků stravy a veškerá konzumace byla poskytována v kusech o velikosti kousnutí pro snadnost, pohodlí konzumace a zamezení kontaminace kabiny částmi pokrmů. Jídelní menu bylo obohaceno o hamburgery, hovězí pečení, telecí maso, kuřecí řízek, hovězí jazyk, sendviče z červeného kaviáru, kousky ryb, ale i cukrovinky, speciální chléb a čerstvé ovoce. Žádný z kosmonautů nehlásil problémy se žvýkáním či polykáním tohoto předvařeného jídla, které bylo zabaleno do celofánového obalu a hermeticky uzavřeno ve vakuu. Při posledních dvou vesmírných letech tohoto programu (Vostok 5, Vostok 6) byla nabídka denního stravovacího plánu na velmi dobré úrovni (viz Tabulka 3) a poskytovala všechny potřebné živiny (Selina, 1989; Hall & Shayler, 2001).

Vostok 5, Vostok 6	
Snídaně	sendvič s kaviárem, káva s mlékem v tubě, pilulka multivitaminu
Oběd	ryba či hovězí pečeně, speciální chléb, jablečný koláč, ovocný džus
Večeře	hovězí jazyk, speciální chléb, ovocný džus, pilulka multivitaminu
Svačiny/Přídavné jídlo	kuřecí steak, maso v listovém těstě s rýží a vejcem, ovocný koláč

(Vostok Hall & Shayler, 2001)

Tabulka 3: Příklad konzumace pokrmů Vostok 5 a 6

Jídlo bylo poskytováno kosmonautům ve 4 dávkách denně s 4 hodinovými pauzami. Tento časový úsek byl nastaven jako nejlépe vyvážený pro trávení. Energetický příjem během kosmického letu byl stanoven odborníky přibližně na 2800 kcal (100g B, 118g T, 308g S). Potraviny měly velmi omezenou trvanlivost a například masné výroby se musely připravovat těsně před odletem. I když jídelní plán vypadal velmi lukrativně, našli se i tací (převážně ženy), kterým strava nevyhovovala. Příkladem je Valentina Těreškovová, která se do historie zapsala jako první žena ve vesmíru, kam vystartovala s lodí Vostok 6 v roce 1963 (viz Obrázek 3). Těreškovová uvedla, že při svém letu nezkonsumovala 40% připraveného jídla kvůli omezenému pocitu hladu i špatné chuti pokrmů. Sovětští vědci již z uplynulých misí věděli, že chuť i pocit hladu se ve stavu beztlíže mění, ale při tak krátkých misích neměli prozatím relevantní údaje (Selina, 1989; Hall & Shayler, 2001).



(NASA, 2020)

Obrázek 3: Kosmonautka V. Těreškovová konzumuje stravu během mise Vostok 6

Pro zásobování vodou a udržení správné hydratace kosmonauta museli potravinoví specialisté vytvořit systém, který umožní konzumaci v beztížném stavu a zvolit materiál, který vodu spolehlivě ochrání. Jednalo se o polyethylenový film v kovové nádobě, kdy kosmonaut uchopil náustek, stiskl tlačítko pro otevření zařízení a nasál vodu. Systém byl vyvinut tak, aby poskytl zásobu vodu na 12 dní při spotřebě 2 l za den. Co se týče osobní hygieny, byla řešena velmi stroze. Kosmonauti neměli možnost mytí, holení ani čištění zubů a spánek probíhal vsedě na svých sedadlech (Hall & Shayler, 2001).

Program Voschod

Program Voschod plynule nahradil v roce 1964 program Vostok s cílem vytvoření lodě schopné pojmout vícečlennou posádku, aby Sověti udrželi krok s americkým vesmírným pokrokem (program Gemini), který by ohrozil prvenství v soutěži o vesmír. Základní vlastnosti a specifikace lodě byly velmi podobné těm předchozím. Z nutričního a lékařského hlediska nebyly přineseny žádné nové poznatky, a to kvůli tomu, že celý program byl označen za technicky přežitý a po dvou letech byl předčasně zrušen. Sovětské síly byly přesměřovány na program Sojuz (Hall & Shayler, 2001).

3.4.2. Program Sojuz

Sojuz je označení řady kosmických lodí různých variant, které se využívají od roku 1962, ale k úspěšnému letu s lidskou posádkou došlo až v roce 1968. Lodě byly nejdelší, nejprizpůsobivější a nejúspěšnější své doby. Začaly se používat potraviny s dlouhodobou trvanlivostí jako je běžný chléb. Ten je pečený do malých roliček, aby mohl být pouze na jedno sousto. Rozmohlo se také posílení masných výrobků jako šunka či dehydratované vařené maso. Jídlo se podávalo v tří denních cyklech se čtyřmi chody denně. Aby se zabránilo jednotvárnosti a monotónnosti stravovacích návyků a pozvedly se psychologické aspekty života, bylo experimentálně připravováno speciálně upravené ovoce a zelenina. Při tomto projektu se začalo poprvé využívat bezobslužné dopravní vozidlo Progress, které slouží k doručování čerstvých potravin a dalšího materiálu na orbitální stanici dodnes. Byla dodávána čerstvá jablka, cibule, česnek, pomeranče, melouny, citrony, brusinky a třešně. Při misi Sojuz 9 (1970) došlo k prvnímu použití ohřevu potravinářských výrobků v hliníkových trubkách ve vesmíru až na 70 stupňů Celsia. Kosmonauti tak mohli při svém 18denním letu konzumovat teplé jídlo (Selina, 1989).

3.4.3. Vesmírná stanice Saljut

Sověti v rámci dobývání vesmíru přišli s úvahami o vzniku orbitální stanice. Projekt byl znám pod jménem Almaz či DOS a spojením těchto dvou projektů v jeden umožnilo vznik první vesmírné stanice Saljut 1, která do vesmíru vyrazila v roce 1971. O pár dní později se k ní vydala kosmická loď Sojuz 11 se tříčlennou posádkou, která měla za úkol prověřit systémy stanice a provést některé vědecké experimenty. Posádka strávila na vesmírné stanici 23 dní. Do roku 1991 se v rámci programu Saljut uskutečnilo celkem 7 misí (Kubala, 2009).

V roce 1977 se vesmíru vydala orbitální stanice Saljut 6, která se do historie zapsala jako první mezinárodní vesmírná stanice. Kromě pěti stálých sovětských posádek se ve vesmíru vystřídalo i několik návštěv v rámci mezinárodního programu Interkosmos. Díky němu se po Sovětech a Američanech dostali do vesmíru i příslušníci dalších národností jako například československý Vladimír Remek (Kubala, 2009). Při této misi došlo k významným změnám stravovacího systému. Sovětští vědci rozšířili paletu potravinářských výrobků, zvýšili kvalitu a prodloužili jejich trvanlivost. Nabídli tak kosmonautům ve vesmíru jídlo v 6denních cyklech, které se skládalo ze 4 jídel denně (Altman a kol, 1987). Můžeme hovořit již o více než sedmdesáti různých produktech včetně masa, ryb, drůbeže a sýrů v plechovkách spolu se 14 druhy dehydratovaných (lyofilizovaných) prvních a druhých chodů. Maso bylo možné rychle rekonstituovat přidáním horké vody a k dispozici byly také pekařské výrobky a dezerty. Výběr nápojů zahrnoval ovocné džusy, čaj, instantní kávu, mléko a fermentované mléčné výrobky (Selina, 1989).

Příklad denního jídelníčku mise Saljut 6

Snídaně

kuře se švestkami (100g)
chléb (45g)
bonbón (50g)
káva s mlékem, sladkost (150g, 50g)

Oběd

tvaroh s pyré z černého rybízu (165g)
medový dort (45g)
šťáva s černého rybízu s dužinou (50g)

Večeře

zelná polévka (165g)
hovězí pečeně s bramborovou kaší (57,5g)
chléb (45g)
sušené švestky s ořechy (60g)
želé ovoce (50g)
káva s cukrem (24g)

Večerní svačina

kuřecí v rajčatové omáčce (165g)
chléb (45g)
sýr (100g)
čaj s cukrem (24g)

= nastaveno na **3150 kcal/den/os**

(Selina, 1989)

Tabulka 4: Příklad denního jídelníčku mise Saljut 6

Při misi Saljut 7 zažili kosmonauti doposud nejlepší potravinový systém sovětské vesmírné výživy. Příklad posádek měl kalorickou hodnotu 3150 kcal a splňoval všechny výživové požadavky. Byly zde zahrnuty i nádoby na servírování potravin, jídelní stůl, elektrický ohřívač, nádoba na likvidaci odpadu a lednička na skladování ovoce a zeleniny. Jídlo mělo ekvivalentní hodnotu, ale bylo primárně (65%) složeno z lyofilizovaných produktů rehydratovatelných horkou nebo studenou vodou. Sověti také zařadili na denní vesmírný program cvičení v rámci prevence proti svalové atrofii a osteoporóze a posílili konzumaci vitamínů. Každý účastník vesmírné mise musel denně zvládnout okolo 2,5 hodin tréninku na cvičicích strojích. Kosmonauti měli na stanici více soukromí, zdokonalila se i hygiena v podobě speciálně uzpůsobených sprch a při práci a pro relaxaci se pouštěla hudba. Nově byla také sobota a neděle zařazena jako den volna a odpočinku. Potíže s odhadováním příjmu živin jednotlivých účastníků mise stále existovaly, protože členové posádek raketoplánů nejsou povinni udržovat protokol příjmu potravy (Selina, 1989; Bluth & Helppie, 1986).

3.4.4. Vesmírná stanice Mir

Sovětská (později ruská) vesmírná stanice Mir se pyšní titulem první dlouhodobě obytnou stanicí na oběžné dráze kolem Země. Základní modul byl do vesmíru vypuštěn roku 1986 a skládal se z pracovního a přechodového úseku a z přechodové komory. Konstrukčně byl vytvořen pro 10 let života ve vesmíru. Posádku stanice tvořili obvykle tři kosmonauti, které dopravovala na Mir kosmická loď Sojuz. Celkem se zde prostřídalo 104 kosmonautů a z toho 62 jiné než ruské (dříve sovětské) národnosti (Kubala, 2009; Bluth & Helppie).

Pro vesmírnou stanici Mir bylo jídlo plánované minimálně na 9 měsíců a mise byla tak dlouhá, dokud bylo na oběžné dráze něco ke konzumaci. Konzervační metody pro potraviny spočívaly hlavně v dehydrataci, termostabilizaci a udržování mezivlhkosti (Lane & Schoeller, 2000). Stanice měla vylepšené zařízení pro přípravu jídla. Stůl měl v sobě zabudovaný ohřívač vody pro rekonstrukci dehydratovaných potravin a speciální ohřívač plechovek. Byla zde i malá lednička, která sloužila pro čerstvé potraviny dovážené bezpilotní dopravní lodí Progress. Toaleta v podobě malé skříňky byla obohacena oproti lodím Saljut dveřmi pro zabezpečení soukromí členů posádky. Všichni účastníci mise museli každý den odcvičit 2,5 hodiny na speciálních strojích. Jednalo se o prevenci svalové atrofie a osteoporózy. Cvičení probíhalo ve čtyřdenních cyklech. První den se pracovalo na rychlosti a síle, druhý den patřil odporovému cvičení, třetí den bylo zaměřené na vytrvalost a čtvrtý den sloužil jako den odpočinkový (Harland, 2005).

Denní harmonogram na stanici Mir	
8:00	probuzení, ranní toaleta, inspekce stanice
9:00	snídaně
9:40	začátek práce, cvičení, komunikace se Zemí
14:00	oběd
15:00	práce, cvičení, komunikace se Zemí
19:00	večeře
20:00	volný čas, uložení ke spánku

(Holub, 2006)

Tabulka 5: Příklad denního harmonogramu stanice Mir

3.5. Americká minulost

Američané jsou hlavní kosmickou velmocí, ale nebylo tomu tak vždy. Této skutečnosti předcházely několikaletý tzv. boj o vesmír či vesmírný závod během studené války (1957-1991), ve kterém byly na začátku Spojené státy vždy těsně druzí za Sovětským svazem, co se týče první družice, prvního člověka ve vesmíru i první vesmírné stanice. Díky tomuto neoficiálnímu boji o nejlepší vědecko-technický pokrok se otevřely v krátkém období rozsáhlé možnosti pro výzkum a využívání kosmického prostoru. Pořadí závodu se obrátilo s misí americkou Apollo 11 v roce 1969 a úspěšným stanutím 1. člověka na povrchu Měsíce. Vše se uskutečnilo pod agenturou federální vlády USA jménem NASA, která vznikla v roce 1958 (Launius, 1999).

NASA se zaměřila na nutriční výzkum a vhodné stravování posádky vypravené do vesmíru, které by obsahovalo pokrmy složené z široké škály potravin, které by byly speciálně zpracovány a zabaleny tak, aby se přizpůsobily prostředí s nulovou gravitací. Pro tento účel byl založen program Space Food and Nutrition, jehož primárním cílem bylo poskytnout výživově vyváženou stravu astronautům během kosmických letů, shromažďovat fyziologické informace a provádět výživové studie. I když sovětský a americký výzkum vesmíru probíhal souběžně, doporučené výživové hodnoty pro kosmonauty a astronauty se lišily (viz Tabulka 6). Astronauti se po návratu z prvních misí často potýkali s podvýživou a svalovou atrofií. S každým dalším programem se ale stav zlepšoval. Všechny potravinový výzkum a pokrok proběhl v Potravinové laboratoři Johnsonova vesmírného centra v Houstonu (Selina, 1989).

Denní výživová doporučení pro účastníky vesmírných letů		
	Kosmonauti	Astronauti
Kalorický příjem	3200 kcal	2300-3100 kcal
Bílkoviny	1,5 g/kg	0,8 g/kg
Tuky	1,4 g/kg	1,3 g/kg
Sacharidy	4,5 g/kg	4,8 g/kg
Fosfor	1,7 g	0,8 g
Sodík	4,5 g	3,5 g
Železo	50 mg	18 mg

(Selina, 1989)

Tabulka 6: Rozdíly ve výživovém doporučení

3.5.1. Program Mercury

Program Mercury (1961-1963) byl první snahou USA umístit člověka na oběžnou dráhu Země. Jsou zde zahrnuty dva suborbitální lety a tři orbitální lety, které trvaly až 34 hodin (Perchonok & Bourland, 2002). Cílem těchto letů bylo vyvrátit nevyzkoušené teorie o katastrofálních selháních životně důležitých funkcí ve stavu beztlíže. Z důvodu krátké doby trvání nebyla potřeba pro posádku stěžejní kompletní výživa. Hlavní jídlo bylo zkonzumováno před odletem, nicméně se testovala fyziologie žvýkání, konzumace nápojů a polykání pevných a tekutých potravin v prostředí mikrogravitace (Johnston & Dietlein, 1997). Prvním Američanem, který jedl ve vesmíru a ve stavu beztlíže, byl John Glenn. Jednalo se o jablečnou omáčku přímo z hliníkové trubice na 3. misi tohoto projektu v roce 1962. Zjistil, že jíst je snadné, ale nabídka velmi omezená (NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002).

Stravu astronautů tvořily kousky o velikosti jednoho kousnutí, lyofilizované prášky, které se těžko rehydratovaly a husté kapaliny plněné do hliníkových tub. Kostky o velikosti kousnutí obsahovaly vysokokalorickou směs bílkovin, tuku, cukru, ovoce a ořechů, ale se velmi drobily, což bylo pro vesmírný let nepraktické. Potraviny plovoucí v prostředí mikrogravitace by mohly poškodit vybavení lodi a ohrozit celou misi, a tak byly kostky potaženy jedlou želatinou, která zabránila drobení. I přes to, že byla „kostková jídla“ populární v testech před výstupem do vesmíru, mnoho kostek bylo z mise vráceno nezkonsumovaných. Většina astronautů souhlasila s tím, že jídla nebyla chutná a velmi nepříjemné bylo konkrétně mačkání z hliníkových tub (NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002).

Mise byly krátkodobé, a tudíž nebyla nutná žádná opatření pro trvanlivost a skladovatelnost potravin na kosmické lodi (Perchonok & Bourland, 2002). Lety tohoto projektu ukázaly, že člověk může po omezenou dobu bezpečně odolávat namáhavým vesmírným letům (Johnston a kol., 1975). Jediným omezením byla jen sensorická deprivace, změna spánku a úbytek hmotnosti, což se stalo odrazovým můstkem pro ostatní projekty (Johnston & Dietlein, 1997).



(NASA, 2020)

Obrázek 4: Příklady jídel z programu Mercury

3.5.2. Program Gemini

Projekt Gemini zahrnoval 10 misí, které se uskutečnily v letech 1965-1966. Vždy se jednalo o dvoučlenné posádky a lety trvaly okolo 14 dní. První let Gemini s posádkou (Gemini 3) v roce 1965 trval necelých 5 hodin a na palubě byly k dispozici čtyři experimentální jídla. Nabídka se skládala právě z dehydratovaných potravin, kostek, suchých směsí a lyofilizovaných produktů, které poskytly až 2900 kcal/den (Selina, 1989). Musel být navržen nový systém potravin včetně receptur a obalů, které zůstanou kvalitní po celou dobu mise. Obalový materiál byl vyvinut tak, aby vydržel přísné požadavky kosmického letu. Posádka nadále pokračovala v konzumaci kostek o velikosti kousnutí nebo vymačkaných potravin z hliníkových tub. Speciální analýzy prokázaly, že jídlo splňuje nutriční, sensorické a mikrobiologické předpoklady. Jednalo se tak o počátek kontrolního systému HACCP (Perchonok & Bourland, 2002). Při tomto projektu byl kladen veliký důraz na hodnocení kardiovaskulárního systému ve stavu mikrogravitace a uskutečňovaly se rozmanité předletové, letové a poletové studie (Johnston & Dietlein, 1997).

Astronauti si po projektu Mercury na jídlo a potravinový systém lodi stěžovali. Kosmická strava nebyla dle jejich názoru chutná, většina potravin se během mise nezkonzumovala a účastníci letu se vraceli dostatečně nevyživeni. Na misích Gemini se stravování výrazně zlepšilo. Například kousky o velikosti kousnutí byly potaženy želatinou, aby se snížilo jejich rozpadání a lyofilizované potraviny byly uzavřeny ve speciální plastové nádobě, aby se usnadnila jejich rekonstrukce. Se zlepšením obalového materiálu se vylepšila i kvalita potravin a zpestřila se denní nabídka. Bohužel nadále zůstávala jen prášková jídla a polotekutá strava z hliníkových tub. Astronauti projektu Gemini měli na výběr z takových pokrmů jako je krevetový koktejl, kuře se zeleninou, máslový pudink a jablečná omáčka. Poprvé měli také možnost si sami vybrat kombinaci jídel, které bude během mise konzumováno. Denní nabídka potravin pro účastníka mise byla vypočítána na 2500 kcal/den na osobu. I když potraviny splňovaly podmínky v pozemních testech, spotřeba za letu byla nadále nedostatečná a astronauti ztratili váhu (NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002).

3.5.3. Program Apollo

Projekt Apollo (1968-1972) byl uznáván jako jeden z největších počínů průzkumu a technického vývoje, jaký byl kdy dosažen (Perchonok & Bourland, 2002). Cílem projektu bylo umístit lidi na Měsíc před koncem tohoto desetiletí, což prohlásil tehdejší americký prezident John F. Kennedy po ztrátě prvenství v neoficiálním závodě o vesmír mezi Američany a Sověty. Přistání mužů na Měsíci a jejich bezpečné vrácení zpět na Zemi bylo považováno za nemožné. V pětiletém rozpětí bylo dokončeno 11 pilotovaných misí většinou tříčlenné posádky (Johnston & Dietlein, 1997). Mise se prodlužovaly a bylo důležité, aby posádka jedla rozmanitě a hodnotně, proto jedním z dalších cílů bylo identifikovat prostředky k zajištění zdraví a funkčních schopností člověka v nepřírodném prostředí. Pomohl také pokrok tlakových obleků a kyslíkových systémů (Perchonok & Bourland, 2002; Johnston a kol., 1975). Dalším z lékařských cílů bylo minimalizovat zdravotní rizika členů posádky, zdokonalit techniky monitorování, vyloučit všechny potenciální

rizika či pokračovat v porozumění změn během letu. Začalo se velmi dbát na předletové lékařské prohlídky, testování citlivosti astronautů na všechny léky na palubě kosmické lodi a monitorování vitálních funkcí, i když to znamenalo vysoké náklady. Novinkou byla také péče o rodiny stejnými lékaři poskytujícími péči astronautům. Jednalo se tak z důvodu pochopení celkového prostředí, ve kterém astronauti žijí (Johnston a kol., 1975). S lety Apollo se pojí také poprvé zaznamenaná pohybová nemoc. Jedná se o vestibulární poruchy s nevolností, kterou doposud uvedl jen jeden sovětský kosmonaut, a poté se objevovala až velmi často při raných misích právě Apolla (Johnston & Dietlein, 1997).

Původní potravinový systém byl podobný potravinovému systému Gemini, ale s pozdějšími misemi se lepší rozmanitost a kvalita jídel. Napomohla tomu hlavně horká voda, která byla přiváděna přes jednosměrný vodní port a usnadnila rehydrataci potravin, což vedlo ke zlepšení jejich chuti. Dalším vylepšením bylo použití retortových sáčků, hliníkových plechovek a ozářeného jídla. Jednalo se o první misi, kde bylo používáno k jídlu nádobí a příbory. První lžice byla vyvinuta pro let Apollo 8 a říkalo se jí „spoonbowl“. Horní část jídelního balíčku byla rozříznuta a jeho obsah byl spotřebován lžící (NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002). Skoro všechny potraviny jsou před letem analyzovány na obsah dusíku, tuků, sacharidů, vlákniny, vápníku, fosforu, železa, sodíku, draslíku a hořčíku. Denní výživový plán si každý astronaut může vybrat dle osobních preferencí, ale musí splňovat doporučené denní dávky (viz Tabulka 7). Každá odchylka od naprogramovaného příjmu musí být hlášena. Všechny potraviny na palubě kosmické lodi musí být konzumovány v předem dohodnutém pořadí. Vynechané a neúplně zkonsumované potraviny musí být zaznamenány (Johnston a kol., 1975).

Doporučení živin na den během misí Apollo					
		Bílkoviny	Tuky	Sacharidy	Vláknina
		18 %	17 %	61 %	1 %
Živiny přijaté během dne při misích Apollo					
Číslo mise	Délka trvání				
7	10 dní	84 g	69 g	269 g	-
8	6 dní	64 g	40 g	229 g	-
9	10 dní	77 g	53 g	257 g	-
10	8 dní	51 g	31 g	211 g	-
11	10 dní	81 g	64 g	279 g	-
12	10 dní	64 g	47 g	264 g	3,9 g
13	7 dní	58 g	49 g	234 g	-
14	8 dní	83 g	75 g	286 g	-
15	11 dní	112 g	99 g	370 g	7,8 g
16	11 dní	73 g	61 g	272 g	4,9 g
17	12 dní	91 g	86 g	285 g	4,8 g
průměrně přijaté		76 g	61 g	269 g	5,4 g

(Johnson a kol., 1975)

Tabulka 7: Porovnání doporučených a přijatých živin během misí Apollo

Před každou misí Apollo musel astronaut konzumovat stravu s nízkým obsahem vlákniny, aby se snížila hmotnost jeho fekálií a frekvence jejich vylučování (viz Tabulka 8). Vzorky stolice během vesmírné mise byly posléze na Zemi laboratorně zpracovány na různé složky pomocí analýzy jaderné aktivace či techniky mokré chemie. Vzorky moči byly sbírány formou biomedicínského systému pro odběr moči a následně také podlely analýze. Údaje dokazovaly, že dieta při misích Apollo poskytovala přebytek některých vitamínů, a to zejména A, E, C, B12, pyridoxinu a riboflavinu (Johnson a kol., 1975).

Snídaně	Oběd	Večeře
<ul style="list-style-type: none"> • vymačnaný grapefruit • rýžový nákyp • míchaná vejce • snídaňový steak • toust (1x) • máslo • hroznové želé • káva • cukr 	<ul style="list-style-type: none"> • hovězí maso s rýžovou polévkou • kreky (4x) • kuřecí sandwich • cottage s hruškou • „andělský dort“¹ • káva nebo čaj • cukr 	<ul style="list-style-type: none"> • rajčatový džus • roastbeef • máslové nudle • pyré z řepy • houska • sorbet • káva nebo čaj • cukr

(Johnston a kol., 1975)

Tabulka 8: Příklad diety s nízkým obsahem vlákniny před misí Apollo

Pro posádku byl při misích Apollo vyvinut i tzv. jídelní bar, aby mohli astronauti konzumovat potravu ve svých vesmírných oblecích, když zrovna provádí výzkum na povrchu Měsíce (Lane & Schoeller, 2000). Navzdory zdokonalení a pokroku v systému stravování za letu, většina členů posádky stále nekonzumovala dostatek živin. Tento jev byl zapříčiněn sníženou chutí k jídlu a nedojídáním plánovaných potravin určených pro každého astronauta individuálně (Perchonok & Bourland, 2002). Jednalo se o veliký energetický deficit. Astronauti snědli průměrně 9589 kJ/den z doporučených 12 000 kJ/den. Důvodem toho byl menší hlad, pocit plnosti v břiše, nevolnost a zaneprázdnění kritickými úkoly mise. Například průměrná ztráta hmotnosti členů posádky Apolla 17 byla 3,3 kg (viz Tabulka 9). Údaje z dusíkaté bilance ukazují ztrátu přibližně 1 kg bílkovin a zbývající ztrátu lze připsat tuku. Ve stavu bez tíže je také tendence ke ztrátě kostní tkáně (Johnston a kol., 1975).

¹andělský dort, anglicky angel cake, je druh piškotového dortu vyrobeného z bílků, mouky a cukru - pro vesmírné mise byl upraven do speciální formy, která se dala sníst jedním soustem

Ztráta hmotnosti během mise			
číslo mise	1. účastník	2. účastík	3. účastník
7	- 2,29 kg	- 2,86 kg	- 2,86 kg
8	- 3,77 kg	- 2,41 kg	- 3,77 kg
9	- 3,41 kg	- 3,77 kg	- 4,90 kg
10	- 3,04 kg	- 4,45 kg	- 5,49 kg
11	- 4,09 kg	- 3,50 kg	- 2,86 kg
12	- 0,82 kg	- 3,54 kg	- 6,36 kg
13	- 4,54 kg	- 5,04 kg	- 3,04 kg
14	- 1,73 kg	- 5,9 kg	- 3,00 kg
15	- 2,18 kg	- 1,54 kg	- 3,59 kg
16	- 4,81 kg	- 4,04 kg	- 2,63 kg
17	- 4,56 kg	- 2,68 kg	- 3,06 kg

(Johnston a kol., 1975)

Tabulka 9: Ztráta hmotnosti astronautů během misí Apollo

Úspěchy potravinového systému programu Apollo představují významný začátek pro dostačující plnohodnotný jídelníček, avšak ze všech studií a analýz vyplynulo, že je nutné udělat v potravinářském systému vesmírných misí úpravy. Ukázalo se, že konzumace potravin během letu je nedostatečná pro udržení nutriční rovnováhy a tělesné hmotnosti. Dalším problémem byla příprava a konzumace jídla, která vyžadovala příliš mnoho času a úsilí posádky. Velkým problémem také bylo, že letová nevolnost, anorexie a nežádoucí fyziologické reakce členů posádky se považují částečně za způsobené potravinami. Člověk a jeho stravovací návyky nelze snadno změnit, proto je nutné podávání potravin v co nejznámější formě, aby měly kromě nutričního efektu i psychologický a v neznámém prostředí vzbuzovaly v astronautovi pocit něčeho známého (Perchonok & Bourland, 2002; Johnston a kol., 1975).

3.5.4. Program Skylab

Jedná se o první americkou orbitální kosmickou stanici, která kroužila kolem Země. Posádku tvořili většinou tři členové, kteří strávili ve vesmíru 28, 59 a 84 dní. Tento projekt (1973-1974) zahrnoval tři hlavní cíle - studium člověka, Země a Slunce. Jednalo se také o první vesmírný let, kde se v lodi nacházela zabudovaná laboratoř a z toho důvodu byla stanice nazývána tzv. nebeskou laboratoří. Z pohledu studie fyziologie člověka se jednalo o dosud nejrozsáhlejší metabolickou studii, kterou američtí vědci uskutečnili. Data z tohoto projektu poskytují základní nutriční informace pro celé vesmírné působení. Před odletem proběhl 56denní test, kdy byli všichni tři astronauti uzavřeni ve speciální komoře a včetně ostatních pokusů konzumovali jídlo, které jim bude podáváno na oběžné dráze (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002; Johnston & Dietlein, 1997).

Potravinový systém byl doposud nejchutnějším a nejrozmanitějším systémem, který lze ve vesmíru použít (Perchonok & Bourland, 2002). Pravděpodobně tomu dopomohla i skutečnost, že se do jídel začalo přidávat koření, které zlepšilo chuť jídla a to konkrétně u misí Skylab 3 a Skylab 4 (Johnston & Dietlein, 1997; Turner & Sanford, 1974). Většina jídla byla zabalena v hliníkových plechovkách. Před odstartováním byly plechovky uzavřeny ve speciálních kanistrech navržených tak, aby odolaly změně tlaku během letu. Mražená jídla, která byla potřeba ohřát, obsahovala speciální membránu pod víkem, aby zabránila rozlití během ohřevu a usnadnila otevření v prostoru mikrogravitace. Přestože vysoká teplota způsobila určité zhnědnutí, bylo jídlo díky vysoce bariérovému obalu stále jedlé. Pro poslední dvě mise byly dokonce dodávány do potravin vitamíny, které nahradily vše, co bylo zničeno žářem (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002). Vesmírné lodě Skylab měly velikou vnitřní plochu, kde byl k dispozici prostor pro jídelnu i stůl. Několik doplňků k přípravě a konzumaci jídla bylo považováno za základní součást celkového potravinového systému. Požadavky na tyto položky byly minimalizovány, protože jídlo bylo konzumováno přímo z jednotlivých balíčků pomocí prstů nebo běžného nádobí. K běžnému noži, vidličce a lžici byly přidány speciální nůžky na stříhání plastových těsnění. Byl poskytnut speciální podnos, který udržel potravinové balíčky a nádobí, zatímco se jídlo konzumovalo. Pro čištění nádobí a celkové čištění se používaly dezinfekční vlhčené ubrousky (NASA, 2019; Turner & Sanford, 1974).

Díky relativně velkému úložnému prostoru na palubě lodí z projektu Skylab měla posádka výběr ze 72 jídel, které se střídaly v 6denních cyklech (Johnston & Dietlein, 1997). Například během startu Skylabu 1 bylo na palubě orbitální dílny odesláno přibližně 17 000 jednotlivých potravinových balíčků o hmotnosti více než 1133 kg (Turner & Sanford, 1974). Astronauti si mohli vybrat z předvolených jídelníčků nebo si zvolit vlastní podle jejich chuťových preferencí. Každý člen posádky byl povinen konzumovat individuální plánovanou stravu po dobu 21 dnů před odletem, během letu a 18 dní po příletu (Johnston & Dietlein, 1997). Na celou přípravu a výběr potravin dohlížel výživový specialista. Zkušební i letové potraviny byly analyzovány pro 37 živin. Během letu měli účastníci výpravy zaměnit si své jídlo s ostatními či si vzít bonusové jídlo ze zásob. Skutečný příjem během letu tedy nemusí odpovídat nutričně vyváženému jídelníčku plánovanému před letem (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002). U programu Skylab byla obecně dodržována pravidla z publikace National Academy of Science z roku 1964. Jednalo se o minimální nutriční dávky bílkovin, minerálů a elektrolytů v denním příjmu potravin. Byly zavedeny speciální mikrobiologické, inspekční a testovací požadavky a přísný program kontroly kvality, aby byla zajištěna potravinová nezávadnost (Turner & Sanford, 1974).

Vesmírné lodě mívaly jako první v USA také mrazničku, ledničku a ohříváče potravin. Z mrazniček měli kosmonauti jídla jako zmrzlinu, filet mignon či humra. Z ledničky dostávali chlazené nápoje a dezerty. Jídelní stůl měl zabudované ohříváče jídla s časovači pro pokročilou přípravu chodů. Speciální opěrky umožňovaly tříčlenné posádce astronautů situovat se kolem stolu a sedět u jídla (Lane & Schoeller, 2000; NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002). Potravinový systém poskytoval členům posádky výživné jídlo a nápoje po dobu 171 dní (Turner & Sanford, 1974). Třídenní prodloužení mise Skylab 3 bylo podpořeno použitím přebytečného jídla z orbitální dílny.

Mise Skylab 4 trvala místo plánovaných 56 dní 84 dní. Vedle použití přebytečného jídla byly pro tyto situace vyvinuty speciální vysokokalorické tyčinky (Lane & Schoeller, 2000; Turner & Sanford, 1974). Jednalo se o velmi hutnou tyčinku, která pokryla kalorické požadavky a minimální příjem živin pro astronauta. Konzumovala se jen v nejnужnějších případech a po nezbytně nutnou dobu (Johnston & Dietlein, 1997). I když tyčinky splňují nutriční požadavky na náhradu jídla, někdy postrádají příjemný pocit v ústech nebo představují nepříjemnou pachů (Cooper a kol., 2011).

Propracovaný odpadový systém zahrnoval kromě nakládání se zbytky potravin a odpadem i zařízení pro sběr, měření a zpracování veškeré moči a výkalů. Po každé defekaci byla stolice uzavřena do pytle a zvážena na speciálním zařízení pro měření hmotnosti. Následně byla důkladně označena a umístěna do vakuového sušícího procesoru. Po 16-20h sušení byl vak s fekálním zbytkem vyjmut ze zařízení a uložen do modulu pro návrat na Zemi, kde se podrobil postmisioní analýze. Moč každého člena posádky byla shromažďována v samostatném vaku po dobu 24 hodin (Johnston & Dietlein, 1997).

Podle zkušeností z letů Gemini a Apollo se počítalo s tím, že kalorické požadavky během letu jsou asi o 300 kcal/den nižší než požadavky na Zemi. Jednalo se pravděpodobně o údaje zkrácené relativně nízkým profilem aktivity a skutečností, že poskytované jídlo nebylo kompletně konzumováno kvůli snížené chuti k jídlu a sníženou chutí pro nabízené potraviny. Zkušenosti z metabolických studií Skylabu prokázaly, že kalorické požadavky při letu jsou téměř shodné s požadavky jednotlivce na Zemi. Poprvé byl použit i ergometr, který umožnil cvičení v nulové gravitaci pomocí rukou a nohou. Zabránilo se tak díky cvičení atrofii svalů a kostí (Johnston & Dietlein, 1997). Příjem živin astronautů byl při projektu Skylab doposud nejlépe kompenzován (Lane & Schoeller, 2000).



(NASA, 2020)

Obrázek 5: Astronaut mise Skylab v lodní kuchyni

3.5.5. Program Space Shuttle

Space Shuttle, neboli oficiálně Space Transportation System (STS), byl americký kosmický program, který se může pyšnit prvenstvím raketoplánu ve vesmíru. Jedná se o vícenásobně použitelnou pilotovanou vesmírnou loď. Projekt byl oficiálně zahájen v roce 1972 a jeho poslední let se uskutečnil v roce 2011. Od roku 1981 se programy vrátily k potravinovému systému bez používání mrazniček a ledniček. Důvodem bylo krátké trvání misí a nedostatku skladovacího prostoru a elektrické energie na orbiteru. I přesto měli astronauti na tomto raketoplánu k dispozici širokou škálu potravin. Plánovaná nabídka jídel začala průzkumem astronautů a vytvořením standardního menu pro všechny mise. Po čtyřech misích už si jídla vybírala každá posádka individuálně, ale musela se u všech členů shodovat. Po misi STS-7 byl jídelní plán navrhnout pro každého člena posádky zvlášť dle jeho osobních preferencí. Standardní nabídka Shuttle se opakuje po 7 dnech a nabízí 4 jídla denně. Každý balíček s potravinou je označen barevnou tečkou přiřazenou jednotlivému členovi posádky. Astronauti si mohou vybrat svá jídla z více než 350 potravin a stravování se stává pro celou posádku mnohem pestřejší. Většina jídel splňuje nutriční požadavky pro let do vesmíru a obsahuje vysoký obsah železa a sodíku. Stravování bylo navrženo tak, aby poskytovalo každému členovi posádky všechny doporučené denní dávky živin, vitamínů a minerálů nezbytných pro výkon v prostředí vesmíru. Každý jídelní plán zvolený astronautem je dietologem analyzován pro svůj obsah živin a případně jsou navrženy určité úpravy. Během letu mají členové posádky možnost svůj pokrm zaměnit se spolupracovníkem či si vzít svačinu a bonusové jídlo. Skutečný nutriční příjem během letu tak nemusí odpovídat vyváženému jídelníčku plánovanému před letem.

Raketoplán obsahoval speciální kuchyni s rehydratačním vybavením a konvekční pecí, která umožňovala přidání horké nebo studené vody a ohřívání jídlo na teplotu podání. V průběhu programu bylo balení potravin zjednodušeno a automatizováno. Rehydratovatelné a nápojové balíčky byly upraveny tak, aby se snížilo množství odpadu. Zvláštní důraz byl na použití komerčních běžných produktů, které lze skladovat při běžné teplotě. Výhodou těchto produktů bylo, že na jeho vývoj bylo ze strany vesmírného výzkumu vynaloženo minimální úsilí a posádka měla k dispozici známý a osvědčený produkt. Nevýhoda spočívala ve změně složení nebo přerušení výroby bez předchozího ohlášení firmy či vyšším obsahu solí a tuků než je pro astronauty při vesmírných letech doporučeno (NASA, 2019; Perchonok & Bourland, 2002).

Navzdory zvýšené rozmanitosti potravin, nabídce dle osobních preferencí, teplé či studené vodě a spolehlivé troubě pro ohřev nebyl příjem živin pro astronauty dostatečný. Tento fakt nesouvisel s kvalitou jídla, ale spíše s tím, že je posádka během mise velmi zaneprázdněna a na jídlo nezbývá tolik času (Perchonok & Bourland, 2002).

Space Shuttle		
Den 1.		
Varianta A	Varianta B	Varianta C
sušené meruňky, ovesná tyčinka s borůvkami, pomerančovo-grepový džus	kuřecí salát, kreky, čokoládový pudink, máslová sušenka, limonáda	hovězí maso, rýže, gratinovaná brokolice, vanilkový pudink, jablečné víno
Den 2.		
Varianta A	Varianta B	Varianta C
sušené švestky, hovězí placičky, kořeněné míchané vejce, ovesná kaše s třtinovým cukrem, pomarančový džus	tuňák, tortilla, banánový pudink, sušenky, mandle, hroznový nápoj	krevetový koktejl, hovězí steak, gratinované brambory, chřest, jahody, limonáda

(Johnston a kol., 1975)

Tabulka 10: Příklad výběru jídel Space Shuttle

3.5.6. Program Apollo-Sojuz

V roce 1975 odstartovaly do vesmíru lodě Sojuz 19 a Apollo 18 první společný kosmický let, v rámci kterého došlo na spojení obou plavidel. Tento program měl oficiální americký název Apollo-Soyuz Test Project (ASTP) či ruský název Sojuz-Apollo. Jednalo se o projekt s velkým politickým významem. Vychází z dohody mezi americkým prezidentem Richardem Nixonem a předsedou Rady ministrů SSSR Alexejem Kosyginem, ukončil éru vesmírného závodu o dobytí vesmíru a začal slibovat mezinárodní kosmické spolupráce (Ezell & Ezell, 2010).

I když se kosmická loď obešla bez mrazničky či ohřívače potravin, potravinový systém Apollo-Sojuz maximalizoval rozmanitost jídelního lístku a začlenil nejvíce přijatelné potraviny z misí Apollo a Skylab. Stejně jako u každého předchozího programu NASA, i zde mělo několik potravin svou kosmickou premiéru. Hlavním zástupcem byla lyofilizovaná, reverzibilně lisovaná, zelenina v podobě tyčinek. Během rekonstrukce tyto produkty zachycují většinu vody odstraněné během dehydratace a vrátí se do jejich původní velikosti, tvaru a textury. Později byla tato technologie úspěšně použita také na pokrmy z masa a zeleniny či masa a rýže, instantní pudinky a dokonce i slazené dehydratované nápoje. Tento způsob potravin má tu výhodu, že se dá konzumovat i bez použití vody a proto byl konzumován nejen ve vesmíru, ale také vojáky v nebezpečných taženích (Klicka & Smith, 1982).

3.6. Současnost

Po prvním mezinárodním programu Apollo-Sojuz v roce 1975, který proběhl ve spolupráci Spojených států amerických a Svazu sovětských socialistických republik, začaly obě tyto vesmírné velmoci spolupracovat na společných projektech. I když se oba lékařské přístupy značně z hlediska výživy v některých ohledech lišily, v rámci několika let se vymyslel kosmický potravinový systém, na kterém se shodly obě strany a je všeobecně uznávaný a používán. Výzkumné studie ukazují, že úspěšné dobývání vesmíru závisí na společném úsilí technologických pracovníků, inženýrů, lékařů, mikrobiologů, nutričních terapeutů a psychologů. Spojení dvou vesmírných velmocí znamenalo pro lidstvo veliký pokrok nejen z hlediska kosmonautiky (Selina, 1989; Cooper a kol., 2011).

3.6.1. Program Shuttle-Mir

Shuttle-Mir znamenal dohodu mezi Ruskem a Spojenými státy o vzájemné spolupráci vyhlášenou roku 1993. Americké raketoplány Shuttle navštěvují ruskou vesmírnou stanici Mir a od roku 1995 zde začínají američtí astronauti žít a pracovat. Z první vesmírné stanice ve vesmíru se tak stává předchůdce a zároveň ruská část později vzniklé Mezinárodní vesmírné stanice. Dva američtí astronauti, kteří se jako první připojili k Miru, strávili na stanici 111 dní (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002).

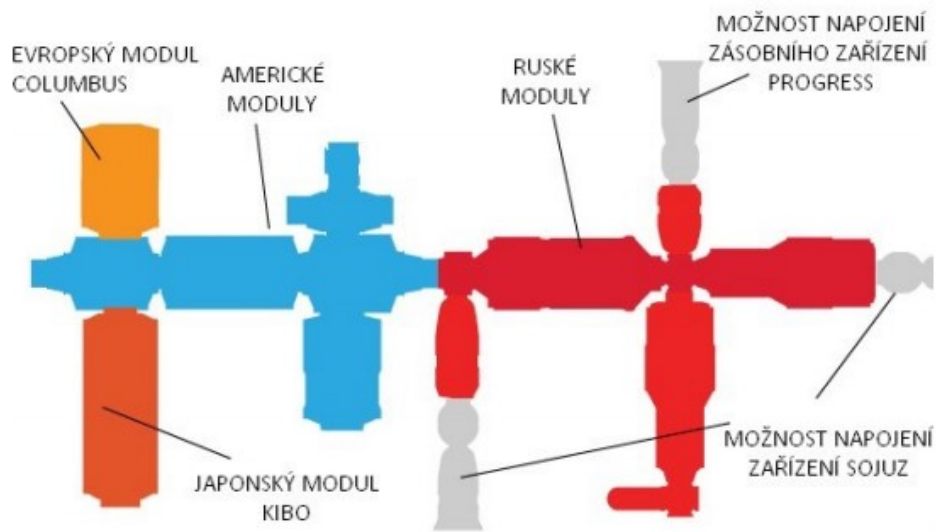
Kosmonauti i astronauti měli v té době velmi odlišná výživová doporučení (Selina, 1989). Všechny jídelní plány byly sjednocovány Rusy i Američany na začátku programu. Vzorky jídla kontrolovali američtí vědci důkladnou analýzou a nutriční specialisté připravovali plnohodnotné menu. Základní nabídka splňovala většinu nutričních požadavků, ale byla poněkud omezená v rozmanitosti, a proto ji účastníci mise nekonzumovali dostatek. Mírné zlepšení nastalo, když během programu začala bezpilotní ruská nákladová loď Progress dopravovat na stanici 1x za 14 dní čerstvé ovoce a zeleninu. Jednotlivé potravinové chody byly astronautům a kosmonautům poskytovány v 6denním cyklu. Denně byla k dispozici 4 jídla. Dva z nich byla ruská a zbylá dvě americká. Jedno jídlo, americké, nebylo považováno za plnohodnotnou stravu, ale bylo zkonsumováno jako svačina kdykoli během dne. Nikdo z účastníků mise tento systém nehodnotil pozitivně (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002).

Potraviny dosahovaly trvanlivosti až 9 měsíců a jednalo se převážně o dehydratované, termostabilizované pokrmy a pokrmy se střední vlhkostí. Obaly zahrnovaly plechovky, kovové tuby a plastové nádoby (Perchonok, 2008). Jako jedna z komplikací se ukázalo, že kuchyně na vesmírné stanici Mir obsahovala dva ohříváče, které nebyly kompatibilní s americkými potravinami (Perchonok & Bourland, 2002).

Do budoucna bylo z výzkumů, které proběhly po misi, naprosto patrné, že se kosmický potravinový systém musí vylepšit. 3 ze 7 účastníků se vrátili z mise se sníženou hmotností (Lane & Schoeller, 2000).

3.6.2. Mezinárodní vesmírná stanice

Mezinárodní vesmírná stanice, též International Space Station (ISS), vznikla na základě společného úsilí mezinárodních partnerů jako Evropská vesmírná agentura (ESA), Japonsko, Rusko, Kanada, Brazílie a USA v roce 1998 (Lane & Schoeller, 2000). Trvale osídlena je od 2. listopadu 2000, kdy se k vesmírnému komplexu připojila ruská kosmická loď s první stálou posádkou. Posádka je tvořena 7 členy a každý půl rok se pravidelně obměňuje. Povinností astronautů a kosmonautů je ovládat angličtinu a ruštinu (Kubala, 2009). Nyní se jedná o jedinou trvale osídlenou stanici ve vesmíru.



(Tate, 2013)

Obrázek 6: Zjednodušené schéma ISS

Posádka stanice konzumuje pravidelně stravu třikrát denně - snídani, oběd a večeři. K tomuto účelu slouží v ruském modulu Zvezda jídelní stůl (Kubala, 2009). Každý z posádky měl jiné jídelní návyky a preference. Američané byli zvyklí jíst za pochodu a kdykoli a Evropané dbali na přesně stanovený čas konzumace plnohodnotných jídel ve skupině a jednotlivé chody během dne měli spojeny i s kulturním a společenským zážitkem. Každý stát je zvyklý i na jiná výživová doporučení (T, B, voda). Díky mezinárodní spolupráci vznikly jednotné hodnoty (DDD) sloužící k tomu, aby nedošlo ve vesmíru k nežádoucí ztrátě hmotnosti či omezení živin, které by mohly ohrozit zdraví jedince (viz Tabulka 10). Nutriční specialisté vytvoří nabídku splňující veškeré nutriční požadavky, která je následně členem posádky zkontrolována a dle osobních preferencí upravena. Pro potravinový systém ISS byla vyvinuta dvoujazyčná databáze sensorických a nutričních informací. Jednotlivý účastník letu je povinen všechna zkonsumovaná jídla načíst pomocí čárového kódu, který usnadní zaznamenání příjmu jeho stravy a podpoří metabolické studie (Lane & Schoeller, 2000; Perchonok & Bourland, 2002).

Živina	Doporučení
Energie	podle doporučení WHO
Sacharidy	50% celkové energie
Tuky	30-35% celkové energie
Tekutiny	2000 ml/den
Vitamin A	1000 µg/den
Vitamin D	10 µg/den
Vitamin E	20 mg/den
Vitamin C	100 mg/den
Vitamin B12	2 µg /den
Vitamin B6	2 mg/den
Thiamin	1,5 mg/den
Riboflavin	2 mg/den
Foláty	400 µg/den
Niacin	20 mg/den
Biotin	100 µg den
Kyselina pantothenová	5 mg/den
Vápník	1000-1200 mg/den
Hořčík	350 mg/den
Sodík	1500-3500 mg/den
Železo	10 mg/den

(Nicogossian a kol., 2016)

Tabulka 11: Přehled DDD na Mezinárodní vesmírné stanici

Cílem potravinového systému ISS je zajistit, aby byl co nejvíce podobný stravování na Zemi a stal se tak přijatelnější než ostatní doposud použité potravinové systémy (Perchonok & Bourland, 2002). Byly vybrány potraviny, které jsou běžné pro každodenní stravu, a přesto jsou vhodné i pro vesmírné použití. Kromě toho by měl potravinový systém zajistit pro všechny členy posádky denní menu po dobu minimálně 90 dnů a 45 dnů v případě zameškaného doplňování (Lane & Schoeller, 2000). K dispozici na ISS jsou jednotlivě balené dehydratované, termostabilizované, ozářené, středně vlhké a přírodní potraviny. Rozsáhlé používání mražených a chlazených potravin zvýší jejich kvalitu a minimalizuje množství vody potřebné pro zpracování potravin. Mražené potraviny zahrnují většinu předkrmů, zeleninu, pečivo a dezerty. Mezi chlazené položky patří čerstvá zelenina a ovoce, chlazené potraviny s prodlouženou trvanlivostí a mléčné výrobky. Další druhy potravin na vesmírné stanici jsou baleny do samostatných servisních kontejnerů, aby se zajistila výměna nabídek v reálném čase, a aby se předešlo nutnosti přenášet jídlo z jednoho kontejneru do druhého. Na žádost posádky jsou potraviny v kontejneru uspořádané podle kategorií, jedná se o zeleninu a ovoce, nápoje, předkrmy a hlavní jídla. Je tak více podpořena volnost ve výběru (Lane & Schoeller, 2000;

Perchonok & Bourland, 2002). Potraviny a další zásoby jsou doplňovány každých 90 dní bezpilotním vozidlem Progress (NASA, 2019).

Potravin pro denní menu jsou vybrány na základě shodnosti s každodenním stravováním, nutričním obsahem, použitelností a trvanlivostí ve vesmíru. Astronauti si vybírají 28denní letové menu na základě hodnocení přibližně 120 dní před odletem. Během hodnocení má astronaut ochutnat různé potraviny a nápoje a zhodnotit je dle svých osobních preferencí. Zvolený jídelníček je analyzován dietologem a na základě DDD jsou napraveny nedostatky. Přidání, odstranění nebo nahrazení standardní nabídky je provedeno pomocí seznamu potravin vesmírné stanice (NASA, 2019).

Systém balení je založen na jednorázových obalech. Porce jsou zabaleny jednotlivě, aby byla usnadněna změna a náhrada předem vybraných nabídek. Jednotlivé servisní kontejnery také vylučují potřebu myčky nádobí. Při návrhu obalu se využívá koncepce, která zachová rozměr konstantní šířky, což umožní společné rozhraní obalů pro použití na odkládací přihrádky, trouby nebo podnosu na jídlo. Pět velikostí balení je navrženo tak, aby vyhovovalo běžným velikostem porcí předkrmů, hlavních jídel, salátů, polévek a dezertů. Čerstvé ovoce, chleba a koření je poskytováno v hromadných baleních (NASA, 2019). Na rozdíl od raketoplánu je elektrická energie pro ISS dodávána spíše solárními panely než palivovými články. Voda z palivových článků tak není k dispozici pro potravinářské účely a v důsledku toho není dána preference na potraviny rehydratovatelné, které členům vesmírných misí všeobecně více vyhovují, ale spíše na termostabilizované (Perchonok & Bourland, 2002).

Všichni účastníci mise na vesmírné stanice mají daný přesný denní časový harmonogram, který musí dodržovat (viz Tabulka 12). Každý má plán individuální, aby se například všichni stihli vystřídat na posilovacích a cvičících stojích (Kubala, 2009).

Čas	Činnost
6:00	budíček
6:00 - 6:15	kontrola systému stanice
6.15 - 6:40	ranní hygiena
6.40 - 7:30	snídaně
7:30 - 8:00	příprava na denní program
8:00 - 13:00	dopolední směna
13:00 - 14:00	pauza na oběd, odpočinek
14:00 - 18:00	odpolední směna
18:00 - 19:00	příprava na další den, večerní hygiena
19:00 - 20:00	večeře
20:00-21:30	kontrola systémů stanice, příprava ke spánku, volno
21:30	večerka

(Dunbar, 2014)

Tabulka 12: Přibližný harmonogram posádky ISS

3.7. Budoucnost

Dalším možným pokrokem jsou dlouhodobé vesmírné lety za nízkou oběžnou dráhu Země. Doba trvání těchto misí může trvat až 5 let a pravděpodobně bude zahrnovat pobyt na měsíčním nebo planetárním povrchu (Kubala, 2009). Přestože v posledních pěti desetiletích významný vývoj změnil potravinový systém, pokrok nespĺňuje potřebu pro posádky, které by mohly cestovat na Mars a dále. Bude nutné vytvořit nové technologie, které na těchto dlouhých kosmických letech umožní soběstačnost a nezávislost na doplňovacích misích (Cooper a kol., 2011). Primárním cílem stravování při těchto dlouhých průzkumných misích je poskytnout posádce chutný, výživný a bezpečný potravinový systém a minimalizovat objem, hmotnost a odpad (Perchonok & Bourland, 2002). Odhaduje se, že potravinový systém pro dlouhodobou misi musí udržovat organoleptickou přijatelnost, nutriční účinnost a bezpečnost po dobu 3 až 5 let, aby byl životaschopný. Současná hmotnost a následné plýtvání potravinami se navíc musí podstatně snížit, aby odpovídala povoleným limitům objemu a užitečného zatížení navrhovaných budoucích kosmických vozidel. Neposkytnutí vhodného jídla nebo optimalizace využití zdrojů s sebou nese riziko, že nedostatečný potravinový systém bude bránit úspěchu mise a ohrozí výkon posádky. NASA a AFT (Advanced Food Technology) zvažují zjištěné obavy a pracují na zmírnění rizik, aby zajistili jakýkoli nový potravinový systém pro misi vhodný (Cooper a kol., 2011; NASA, 2019).

Dle Cooper a kol., navrhnuty již v roce 2011 a stále aktuální, jsou hlavními položkami zahrnující technické i vývojové potřeby vesmírného potravinového systému pro úspěšné zásobování dlouhých průzkumných misí tyto položky:

1. potraviny bohaté na výživu, stabilitu a splňující celkovou smyslovou přijatelnost
2. procesy vaření s částečnou gravitací a minimalizací mikrobiálního rizika
3. trvalé dodání vitamínů ve stabilních potravinách
4. obalový materiál, který splňuje požadavky vysoké bariéry, nízké hmotnosti a kompatibility procesů

(Cooper a kol., 2011)

3.7.1. Stabilní potraviny bohaté na výživu

Důležitou otázkou pro dlouhodobé vesmírné mise je hmotnost potravinového sortimentu, která se v průběhu let vyvíjí. Potravinový systém vesmírných letů začal historicky s produktovým designem zaměřeným na omezení hmotnosti a objemu, ale poté, co se energetický příjem posádky stal obavou leteckých lékařů, zaměřilo se na chutnost potravin (Cooper a kol., 2011; NASA, 2019). Pokud byl použit pro kosmické lety produkt s omezením hmotnosti a objemu, jako například potraviny při programu Gemini, kde se jednalo o kostky masa, ovoce, dezertů a chlebů o velikosti kousnutí, které nabízely dostatečné množství energie, přijatelnost kostek za letu klesla natolik, že se mnoho vrátilo zpět na zem nevyužito společně s nedostatečně vyživenými astronauty (Bourland & Smith, 1991).

Současní členové posádky ISS dostávají přibližně za den 1,8 kg potravin na osobu. Větší procento tohoto jídla je termostabilizované, protože je stále obecně členy posádky více chuťově preferováno. Oproti tomu je zajímavé číslo 0,82 kg/den pro člena posádky Apollo 7. NASA stále zvažuje různé způsoby snižování množství potravy, přičemž posádce stále poskytne dostatečný kalorický příjem i psychologické uspokojení. Vedle potravin s nízkou hmotností je důležitým hlediskem používání potravin s prodlouženou trvanlivostí. NASA v těchto dnech přiděluje trvanlivost 18 až 24 měsíců, ale ani toto rozpětí není pro budoucí mise do hlubokého vesmíru dostatečné. Potraviny zabalené pro budoucí vesmírné mise v hlubokém vesmíru mohou být umístěny na cílovou stanici před příjezdem posádky, což si žádá stravu, která bude bezpečná ke konzumaci i při stáří více než 5 let (Cooper a kol., 2011; NASA, 2019; Douglas a kol., 2021).

Potraviny, které jsou skladovány po delší dobu, procházejí chemickými transformacemi, které zahrnují degradaci vitamínů a nežádoucí změny struktury a chuti. Za ochrannou magnetosférou Země na oběžné dráze budou navíc potraviny ozařovány galaktickými kosmickými paprsky a budou čelit slunečnímu záření na vyšších úrovních a v různých spektrech, než jsme doposud zvyklí (Douglas a kol., 2021). Podle studie z roku 2009, která zkoumala degradaci živin ve vesmírných potravinách při vesmírném letu, žádnou z potravin neovlivnilo kosmické záření, ale pro tak dlouhodobé mise, kterým budou kosmonauti a astronauti v budoucnu čelit, nevíme, zdali je tento závěr relevantní (Zwart a kol., 2009). V současné době také existují mezery v našich znalostech o zdravotních rizicích spojených s chronickým nízkodávkovým ionizujícím zářením. Projekt NASA si klade za cíl poskytnout podrobnou knihovnu datových sad o informacích biologických vzorců vystavených tomuto záření (Beheshti a kol., 2018).

3.7.2. Bezpečné vaření v částečné gravitaci

Většina potravin je laboratoří monitorována podle stanovených požadavků pro vesmírné potraviny, aby bylo zajištěno, že postupy přípravy a balení produktů vedou k odpovídajícím zavedeným mikrobiálním normám. Jakmile NASA vybuduje mimozemské stanoviště, jídlo nemusí být omezeno pouze na předbalené potraviny. Od členů posádky může být požadováno, aby sklízeli hydroponicky vypěstované produkty, skladovali a přebalovali přísady v cizím prostředí a vařili pomocí zařízení navrženého pro povrch s částečnou gravitací. Konzumace nesterilních potravin přináší posádce nová bezpečnostní rizika. Pokud se čerstvé ovoce a zelenina konzumují bez čistícího kroku, existuje možnost mikrobiální kontaminace a tedy i výskyt nemocí přenášených pomocí potravin. Mikrobiologická kontaminace může negativně ohrozit zdraví posádky i její přežití (Cooper a kol., 2011). Mikroorganismy navíc vykazovaly ve vesmíru poměrně silné chování, což naznačuje, že desinfekční postupy na Zemi nemusí být ve vesmíru tak účinné (Horneck a kol., 2010). Dalším aspektem bezpečnosti je proces vaření. Během zpracování ingrediencí a následné přípravy jídel během dlouhodobých průzkumných misí bude nutné dosáhnout určité kombinace teploty a času, aby byla zajištěna bezpečnost a určitá funkčnost (Cooper a kol., 2011; NASA, 2019).

3.7.3. Dodání vitamínů a minerálů

Bez přiměřené výživy je ohrožena lidská výkonnost a udržitelnost. Je důležité, aby členové posádky měli během své mise k dispozici požadovanou úroveň živin a přecházeli tak nemocem. Zatímco stanovení energetickým požadavků člena posádky vesmírného letu je relativně základní aktivita, zajištění dodávek jednotlivých živin není nikdy snadným úkolem. Schopnost potravinového systému splnit nutriční požadavky lze určit pouze tehdy, když je známý nutriční profil celého vesmírného potravinového systému v době, kdy je jídlo konzumováno. Historicky bylo prováděno pouze omezené měření nutričního obsahu potravinářských potravin. Makroživiny a některé minerály jsou stanoveny analyticky v laboratoři JSC Water and Food Analytical Laboratory. Další živiny, jako jsou vitamíny, jsou systematicky počítány pomocí počítačové databáze živin vyvinuté USDA a potravinářským průmyslem (Cooper a kol., 2011).

Množství vitamínů a minerálů je pro vesmírné cesty do hlubokého vesmíru velmi důležité a jejich nedostatek může ohrozit celou misi. Smith a kolektiv ve své práci poznamenali, že v průběhu misí Mercury, Gemini a Apollo členové posádky až na několik výjimek nejen ztratili svou hmotnost, ale také trpěli výskytem srdečních arytmií. Jako hlavním důvodem byl určen nedostatek draslíku ve vesmírné výživě (Smith a kol., 1975). Zwart a kolektiv ve své práci studovali degradaci vitamínů během skladování. Zaznamenali významný pokles kyseliny listové, thiaminu, vitamínu A, vitamínu C a vitamínu K v různých potravinářských vesmírných výrobcích. I když studie trvala 880 dní, výrazné změny byly u potravin patrné už po 596 dnech. Multivitaminová tableta speciálně navržená pro dlouhé vesmírné lety také prošla během 1,5 roku významnou chemickou degradací (Zwart a kol., 2009). Pro dlouhodobé mise do vesmíru bude zapotřebí zapouzdření vitamínového obohacení nebo nové metody stabilizace vitamínů a minerálů (Cooper a kol., 2011).

3.7.4. Obalový materiál

Balený potravinový systém je hlavním zdrojem výživy pro současné posádky a průzkumné budoucí posádky budou pravděpodobně používat systém stejný (Douglas a kol., 2021). Balení je nedílnou součástí zachování bezpečnosti, výživové přijatelnosti a chuťové přijatelnosti potravin, protože chrání potraviny před cizím materiálem, mikroorganismy, kyslíkem, světlem, vlhkostí a jinými způsoby degradace. Během vývoje potravinového systému při vesmírném letu je třeba vzít v úvahu zdroje mise včetně hmotnosti, objemu, výkonu, času posádky a kapacity pro likvidaci odpadu. Jednou z hlavních nevýhod současného systému balení je používání dvou různých obalových materiálů. Primární obalový materiál pro lyofilizované potraviny a potraviny v přirozené formě není dostatečný jako bariéra proti kyslíku a vlhkosti, aby vydržel větší dobu než 18 měsíců trvanlivosti. Obalový materiál však umožňuje tvarování tácku pro lyofilizované potraviny a vizuální kontrolu potravin v přirozené formě. K zajištění nezbytné ochrany a dosažení delší trvanlivosti jsou potraviny přebaleny sekundárním obalem, který má přísnější bariérové vlastnosti. NASA hledá obalový materiál s nízkou hmotností a vysokou bariérou, který je kompatibilní s postupy spalování a zpracování, aby se optimalizovalo využití zdrojů v budoucích misích. Ideální materiál by poskytoval rozšířenou ochranu proti průniku kyslíku a vlhkosti, ale stále by měl potřebnou flexibilitu a těsnící schopnosti (Cooper a kol., 2011).

4. Dietologie a vesmír

Je pochopitelné, že NASA nikdy nebyli jen astronauti. Jedná se o široký tým vědců, inženýrů, IT specialistů, doktorů, specialistů na lidské zdroje, účetních, spisovatelů, techniků a nutriční terapeuti mají také v týmu důležitou úlohu. Každá mise je považována za kompletně úspěšnou, pokud se kosmonauti a astronauti vrátí zpět na Zemi dostatečně vyživeni (Blodgett, 2021). Příjem stravy členů posádky je po celou dobu mise velmi hlídán a v dnešní době jsou pro usnadnění využívány všechny dostupné technologie. Pomocí speciálních přístrojů lékaři a nutriční terapeuti vědí s předstihem, pokud se z fyziologického hlediska s účastníkem mise děje něco neobvyklého a operativně stav řeší (Cooper a kol., 2011).

4.1. Vesmírná medicína

Vesmírnou medicínu lze obecně definovat jako praxi všech aspektů preventivní medicíny včetně screeningu, poskytování zdravotní péče a udržování lidské výkonnosti v extrémním prostředí vesmíru a zachování dlouhodobého zdraví všech členů vesmírné posádky. Lidský vesmírný let probíhá ve strohém, vzdáleném a fyziologicky náročném prostředí s lékařským zajištěním omezeným z hlediska síly, hmotnosti a dostupné kombinace dovednosti posádky. Navíc představuje prostředí, ve kterém může invalidita jednotlivce s kritickou rolí v misi ohrozit zdraví a bezpečnost celé posádky. Profesionální lékařské standardy pro astronauty jsou přísnější než například pro profesionální piloty. Mezi výlučné podmínky patří vše, co může ohrozit ztrátu zdraví (ICHS, ledvinové kameny či epilepsie), může interagovat s vesmírným prostředím nebo systémem podpory života (plicní onemocnění, astma) nebo je nekompatibilní s dlouhodobou vesmírnou misí (chronické onemocnění vyžadující pravidelnou léčbu). Co se týče komerčních vesmírných letů a vesmírné turistiky, jsou standardy podstatně méně přísné než standardy pro profesionální astronauty (Hodkinson a kol., 2017).

Systém zdravotní péče v éře raketoplánu se zaměřil na udržení zdraví a výkonu posádky především s využitím preventivních strategií. Lékařské plánování ISS bere v úvahu mezinárodní a mezikulturní povahu lékařských standardů a praxe, omezení lékařského vybavení a řešení klinických událostí ve vesmíru či lékařský výcvik posádky. Tyto příklady společně poskytují základ, z něhož lze vytvořit plány lékařské podpory pro vesmírné lety. Zatímco prevence je základním pilířem pro ochranu zdraví posádky, riziko nemoci či zranění zůstává přirozeným rizikem vesmírných letů. Dle statistických výpočtů byla odhadnuta nouzová situace přibližně na 0,06 na osobu za rok letu. U šestičlenné posádky při 900 denní misi na Mars by se tedy měla očekávat alespoň jedna nouzová situace (Komorowski a kol., 2016).

Běžné/očekávané stavy	Příležitostné stavy	Seznam oficiálních nebezpečných zdravotních stavů	Velmi nepravděpodobné stavy
<ul style="list-style-type: none"> vesmírná pohybová nemoc sinusová kongesce zácpa bolest hlavy bolest zad infekce horních dýchacích cest muskuloskeletální trauma podráždění rohovky nespavost 	<ul style="list-style-type: none"> tvorba ledvinových kamenů akutní retence moči srdeční arytmie infekce močových cest gastroenteritida prostatitida zánět středního ucha kontaktní dermatitida bolest kloubů aspirace cizího tělesa 	<ul style="list-style-type: none"> radiační nemoc dekompresní nemoc barotrauma osteoporóza záchvat anafylaxe úzkost deprese předávkování/nesprávné užívání léků divertikulitida sepsy penetrace očí krvácení popáleniny vdechování kouře 	<ul style="list-style-type: none"> kardiogenní šok malignita akutní glaukom zranění hlavy hypovolemický šok zlomenina bederní páteře vykloubení ramene

(Hodkinson, 2017)

Tabulka 13: Přehled zdravotních stavů, které se mohou vyskytnout během mise

Léky zahrnuté v typických vesmírných soupravách na palubě jsou analgetika, antibiotika, anxiolytika, antiemetika, antidepressiva, hypnotika a benzodiazepiny. Lékařské diagnostické zobrazovací metody jsou v současné době na palubě ISS omezeny pouze na ultrazvuk. Při vesmírných misích se velmi uplatňuje telemedicína, neboli dálkový přenos lékařských informací od pacienta k doktorovi pomocí telekomunikačních technologií a IT, avšak je důležité poznamenat, že při budoucích dlouhodobých misích na Mars může být časové zpoždění komunikace až 56 minut a může dojít k ohrožení úspěšnosti celé mise. U průzkumných misí do hlubokého vesmíru je nutné, aby lékařská péče byla autonomní a soběstačná. Přítomnost lékaře v posádce může poskytnout větší flexibilitu a vylepšení schopností splnit některé z očekávaných či neočekávaných pohotovostních požadavků. Kromě běžné lékařské praxe je třeba vzít v úvahu i nouzové scénáře kosmických lodí. Tři hlavní nouzové scénáře na palubě ISS se nastavily podle předchozích zkušeností a jedná se o ztrátu tlaku, oheň a únik toxických látek. Ztráta tlaku může být způsobena malým nebo velkým únikem ve vozidle, skafandru či stanovišti, přičemž každá může mít různé potenciální následky a nouzové reakce. Zdravotní následky závisí na rychlosti a rozsahu tlakové ztráty. Mezi rizika patří barotrauma, akutní hypoxie a dekompresní nemoc. Astronauti jsou pro tyto scénáře cvičeni. Pro akutní případy, které vyžadují urychlenou lékařskou pomoc je možná evakuace v kosmické lodi Sojuz.

Aspektem vesmírné medicíny, který se zvláště liší od běžné lékařské praxe, jsou lékařské letové zkoušky. Lékaři pracují na rozhraní medicíny, inženýrství a létání v extrémních podmínkách. Mise do hlubokého vesmíru bude muset být výrazně soběstačnější než současné operace a může vyžadovat návrat tradičního lodního či expedičního lékaře. NASA má do budoucna v plánu stanovit, že lékař by měl být součástí planetárních misí delších než 210 dnů. Jejich role by zahrnovala dovednosti akutní péče při zvládnání traumat či nouzových lékařských situací, ale lékaři jsou také důležitou morální a sociální součástí vedení průzkumného týmu (Hodkinson a kol., 2017).

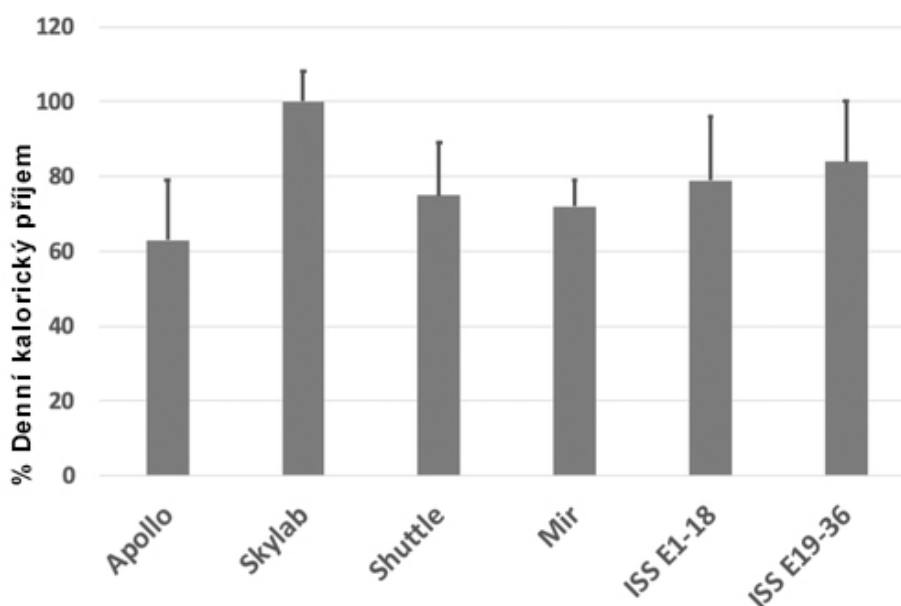
4.2. Vesmírná dietologie

Výživa s ohledem na vesmírný let je těsně propojená s dalšími výzkumnými disciplínami včetně studie hematologie, imunologie, neurosenzoriky, kardiovaskulárního a gastrointestinálního systému, cirkadiálních rytmů a pohybového aparátu. Psychosociální aspekty výživy jsou také důležité pro zvýšení produktivity a morálky posádky. Pochopení fyziologie a výživových požadavků pro členy kosmického letu jsou rozhodující pro bezpečnost celé posádky a úspěch mise. Adekvátní příjem energie je nejdůležitějším aspektem výživy astronautů a kosmonautů. Není to důvodem, že samotná energie je více důležitá než ostatní nutriční faktory, ale také proto, že pokud se spotřebuje dostatek potravin pro uspokojení energetické potřeby, pak všechny jiné živiny budou pravděpodobně také spotřebovány v rozumné míře a množství. Pro vesmírné nutriční terapeutů je důležité zaměřit se při sestavování jídelníčku pro účastníky kosmického letu na dostatek vápníku, bílkovin a vitamínu D proti úbytku kostní a svalové hmoty, dostatek omega-3 mastných kyselin pro příznivý dopad na kardiovaskulární systém (dostatek ryb), dostatek železa proti hematologickým změnám vyvolaným během letu (anémie) či dostatek antioxidantů, které mohou sloužit jako prevence proti nepříznivému oxidačnímu stresu. Antioxidační obranný systém může být implementován i pomocí doplnění vitamínů a stopových prvků ve stravě. Jedná se o vitamin E, vitamin C, vitamin A a jeho prekurzory (karotenoidy) či minerály jako je měď, zinek, mangan, selen a železo. Aktuální doporučení ohledně příjmu vitamínu C během vesmírných misí je navýšeno z 60 na 100 mg denně. Laboratoř nutriční biochemie NASA uskutečňováním provozních i výzkumných projektů definovala veškeré nutriční hodnoty a požadavky pro kosmické lety a nadále je dle nových oficiálních poznatků aktualizuje. Program hodnocení stavu výživy je operativně zahrnut pro všechny astronauty a kosmonauty před, během i po skončení mise (Enrico, 2016).

Úbytek hmotnosti u astronautů během kosmických letů je způsoben ztrátou vody či svalové a tukové hmoty. Předpokládá se, že je tento jev zapříčiněn vlivem mikrogravitace, ale ztráta 2 kg tuku při dlouhodobějších misích naznačuje, že hlavní příčinou je i nedostatečný kalorický příjem. Energetické požadavky se počítají pomocí klidové rychlosti metabolismu a faktoru aktivity, který souvisí se stupněm pohybu a stupněm denního cvičení. Výpočet bazálního metabolismu (BMR) se provádí pomocí Harris-Benedictovy rovnice (Taylor a kol., 2020):

BMR pro ženy: $655 + 9,6 \times \text{hmotnost (kg)} + 1,8 \times \text{výška (cm)} - 4,7 \times \text{věk (roky)}$
 BMR pro muže: $66,5 + 13,8 \times \text{hmotnost (kg)} + 5 \times \text{výška (cm)} - 6,8 \times \text{věk (roky)}$

Dieta dodávaná astronautům je navržena tak, aby poskytovala přibližně 2800 kcal/den. Obrázek (viz Obrázek 7) ukazuje širší studii, kde byla shromážděna data z několika vesmírných programů. Všechny mise vykazovaly kalorický deficit, kromě Skylabu, kde byla denně sledována spotřeba potravin astronautů a bylo od nich požadováno, aby dosáhli 100 % svého denního kalorického cíle (Smith a kol., 2015). Nedostatečná konzumace jídla během kosmických letů byla nazvána „vesmírná anorexie“. Zjevně existuje nějaký spouštěč, který převažuje nad obvyklými mechanismy řídicí příjem potravy a dosud nebyl identifikován. Důsledný design a testování vesmírných potravin zajišťuje, že dávky poskytované astronautům jsou nutričně kompletní, takže tento potenciální zdroj deficitu kalorií lze vyloučit. Údaje ukazují, že u většiny astronautů dochází k nedostatečné spotřebě potravin odpovídající deficitu kolem 20 % DDD (Taylor a kol., 2020).



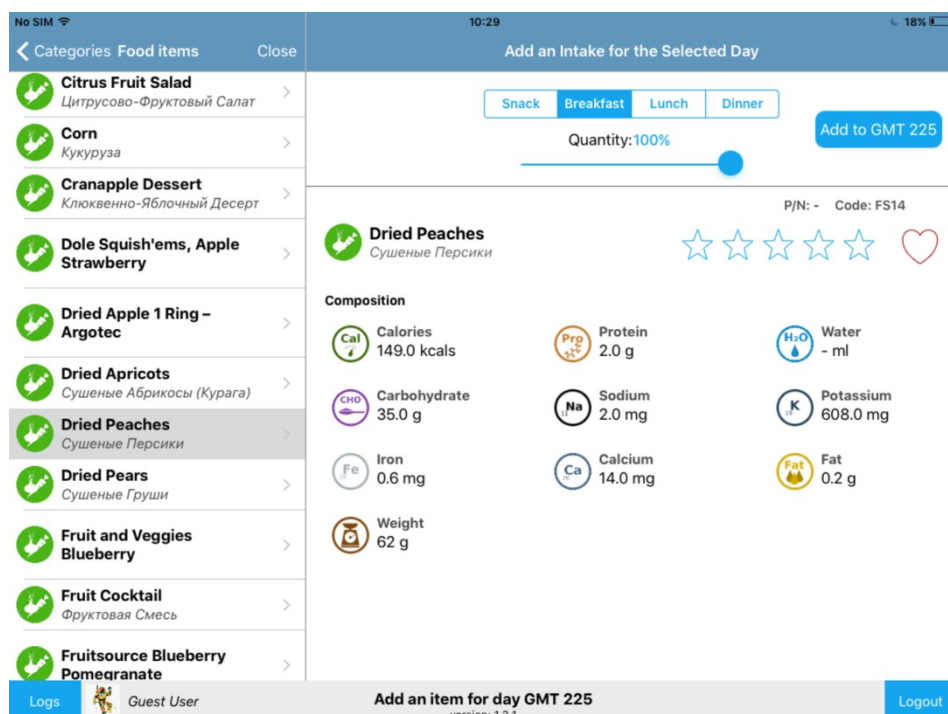
(Smith a kol., 2015)

Obrázek 7: Kalorické deficity během vesmírných misí

4.3. Aplikace EveryWear

Aplikace EveryWear vznikla ve spolupráci mezi francouzskou kosmickou agenturou CNES a institutem kosmické fyziologie MEDES. Sbírá fyziologická a lékařská data od každého člena posádky ISS. Je propojená s biomedicínskými senzory, biokonektory, které zaznamenávají astronautovo cvičení, tepovou frekvenci a kvalitu spánku. Jedná se o kombinaci tří nositelných senzorů. Jedním z nich je tonometr, který měří krevní tlak, druhým je tzv. chytré tričko, které zaznamenává elektrokardiogram během cvičení a náplast, která sleduje astronautovi

spánkové vzorce. Lékařům a nutričním terapeutům tato aplikace usnadnila velmi práci tím, že astronaut jednoduše naskenuje čárový kód zkonsumovaného jídla a v Laboratoři vesmírných potravinových systémů na Zemi mají aktuální přehled o tom, jak jsou všichni účastníci mise živeni. Jako bonus k tradičnímu týdennímu poradenství aplikace posílá astronautům generované výživové reporty. Aplikace má v databázi veškerá jídla na palubně s popisy v angličtině a ruštině. Jedná se o jedinečné aktuální propojení kosmonautů s nutričními terapeuty. Zaměření je speciálně na kalorie, bílkoviny, vodu, cukry, tuky, sodík, vápník, železo a draslík. Aplikace EveryWear také nabízí podporu experimentů s názvem AquaPad, které jsou zkoušeny jako nový způsob jak zajistit, aby voda na vesmírné stanici nebyla kontaminovaná. Astronaut jednoduše pořídí snímek speciálně vyvinuté petriho misky a aplikace zpracuje snímek tak, aby vypočítal množství bakterií ve vodě a potvrdil, zda je bezpečná pro konzumaci. Až bude tento program fungovat, život ve vesmíru se opět velmi usnadní (ESA, n. d.).



(ESA, n.n)

Obrázek 8: Aplikace EveryWear

4.4. Laboratoř nutriční biochemie NASA

Práce prováděné v Laboratoři nutriční biochemie NASA zahrnují hodnocení biochemického stavu výživy před, během i po skončení mise, analýzu příjmu potravy, výzkum a klinickou dietetiku, výživu a související fyziologický výzkum, stanovení a sledování nutričních požadavků a hodnocení remodelace kostí astronautů. Výzkumné úsilí týmu zahrnuje jak vesmírné lety, tak pozemní analogické studie s lidskými subjekty. Například kinetické studie vápníku umožňují odhad střevní absorpce, vylučování moči a resorpci či depozici vápníku z kostí. Dalším příkladem je jeden

současný letový expert, který pracuje na rozšíření funkčního profilu hodnocení klinické výživy tak, aby zahrnoval sběr krve a moči na ISS. Technologie, s kterými laboratoř pracuje, zahrnují vysokoúčinnou kapalinovou chromatografii (HPLC), spektrometr pro atomovou absorpční, hmotnostní spektrometr, kapalinový chromatograf s hmotnostními spektrometry (LC-MSMS), analyzátor aminokyselin, počítadlo gama záření a další laboratorní technologie (Lewis, 2017).

4.5. Laboratoř vesmírných potravinových systémů

Laboratoř vesmírných potravinových systémů, oficiálně The Space Food Systems Laboratory (SFSL), připravuje potřebné nástroje a techniky pro zajištění aktuálního vesmírného jídla a provádí výzkum nových technologií pro budoucí potravinové systémy. Je součástí JSC a dělí se na čtyři dílčí laboratoře - testovací kuchyni (zahrnuje přípravu a senzorní testování pokrmů), laboratoř pro zpracování potravin, laboratoř pro balení potravin a analytickou laboratoř. Skupina vědců z SFSL vyvíjí receptury a vzorky jídel pro vesmírné lety, stejně jako navrhuje nádoby a obaly vhodné pro dlouhodobé skladování (Brief, 2021).

Pokročilá technologie potravin (AFT)

Vzhledem k rostoucím možnostem krátkodobého i dlouhodobého cestování vesmírem na Mars či Měsíc je nezbytné nejen navrhovat výživná jídla, ale také zajistit, aby bylo stravování příjemným zážitkem. Abychom vytvořili správné podmínky pro cestování vesmírem a uspokojili všechny účastníky mise, musíme neustále inovovat stávající systém. AFT spadá pod Laboratoř vesmírných potravinových systémů a provádí výzkum v oblasti nových technologií, které prodlužují trvanlivost zpracovaných potravin, včetně nově vznikajících technologií zpracování potravin a obalových materiálů, které jsou lehké a mohou být snadno a efektivně zlikvidovány. Účelem projektu je vyvinout, vyhodnotit a dodat potravinářské technologie, které budou podporovat posádky na misích na Měsíc, Mars a dále. K jejich podpoře budou vyžadována bezpečná, výživná, přijatelná, rozmanitá a stabilní jídla s trvanlivostí 3-5 let. Současně musí systém účinně vyvážit vhodné zdroje vozidla, jako je hmotnost, objem, voda, vzduch, odpad, síla a čas posádky. Vývoj skladovatelných potravin, které používají vysoce kvalitní přísady, je důležitý pro udržení zdravé výživy a psychosociální pohody posádky. Pro budoucí mise NASA se uvažuje o dvou objevujících se technologiích pro konzervaci potravin. Jedná se o vysokotlakové zpracování a mikrovlnné zpracování. Současný obalový materiál však nejde pro tyto procesy použít.

Vesmírné potraviny

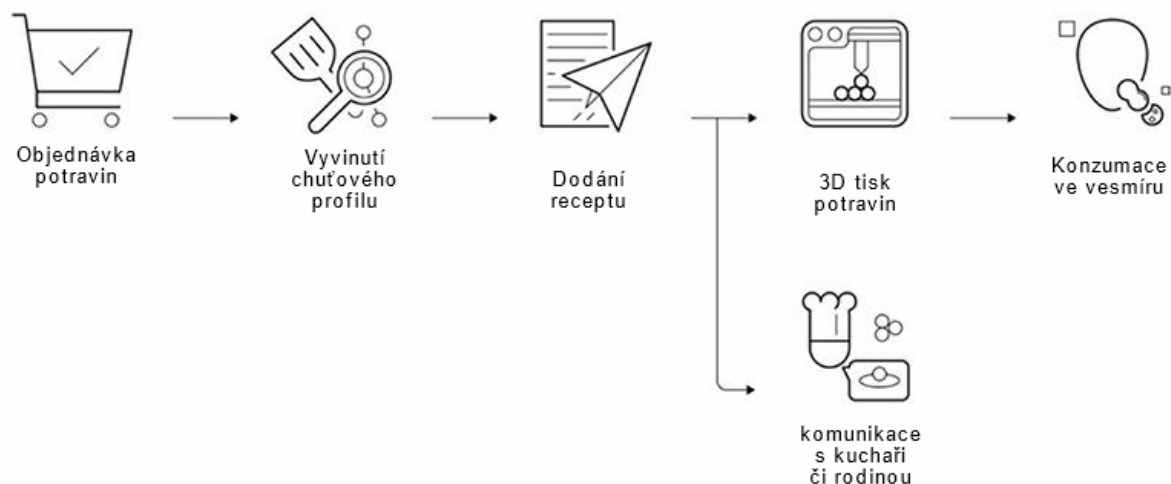
Laboratoř vyrábí, testuje a certifikuje veškeré své jídlo a zajišťuje, aby bylo chutné, výživné a bezpečné. Součástí je i nutriční analýza a toxikologické rozborů (Trimarchi, n.d.). Výroba a balení potravin se liší v závislosti na rychlosti kažení. Termostabilizované výrobky se obvykle vyrábí celoročně a balí se podle potřeby. Rehydratované potraviny jsou baleny pouze 6-8 měsíců před letem do vesmíru, aby se prodloužila jejich trvanlivost. Potraviny, které se v současné době vyrábějí v SFSL, jsou potraviny stejné jako ty, které jíme na Zemi a některé dokonce naprosto totožné s těmi, které se dají koupit v supermarketech. Laboratoř neustále hledá způsob, jak zlepšit stravovací zážitek pro posádky a navýšit tak jejich psychickou pohodu (Brief, 2021).

Testování potravin

Testování potravin začíná v laboratoři sensorickým hodnocením. Astronaut hodnotí jídlo podle vzhledu, barvy, chuti, vůně, textury a celkové chutnosti. Potravin jsou poté vystaveny časovým a teplotním změnám a sensorické hodnocení se opakuje. Vědci současně provádějí chemické analýzy testování vlhkosti, pH, aktivity vody, živin, barvy a struktury potravin se zohledněním změn času a teploty. V SFSL jsou také testovány účinky mikrogravitace na vzhled a balení potravin. V laboratoři mají vědci letadlo KC-135 přezdívané „Vomitská kometa“, kde testují produkty a prototypy v simulovaném prostředí mikrogravitace.

Současně probíhá také výzkum nutričních rizik během kosmického letu včetně vystavení zvýšenému záření na oběžné dráze, psychologických problémů a zdraví kostí. Vědci studují příjem potravy, tělesnou hmotnost či složení a kostní hmotu posádky během letů a misí na ISS. Vše probíhá jako prevence proti zdravotním komplikacím a snaha minimalizovat tato zdravotní rizika v budoucnu (Trimarchi, n. d.).

V současné době JAXA oznámila SFSL svůj záměr, zaměřit se na budoucnost života ve vesmíru tím, že povzbuzuje mladé vědce i odporníky z praxe, aby uvažovali o roce 2040 a budoucnosti života na Měsíci. JAXA spoléhá, že této budoucí vizi má přispět interakce mezi člověkem a počítačovými technologiemi. Tato interakce zakotvená v komunitě počítačových věd má nyní přispět novou perspektivou a znalostmi o tom, jak navrhovat budoucí rozhraní ve vesmíru, zejména na základě zvýšeného výzkumu týkající se jídla či designu potravinového sortimentu a souvisejících oborů v psychologii a sensorice. Důkazy naznačují, že jídlo neslouží pouze nutričním účelům, ale lze na něj myslet i různými způsoby, aby byla zajištěna osobní a emoční pohoda. Když přemýšlíme o budoucích vesmírných strážnících, musíme brát v potaz nejen profesionální astronauty, ale také uvažovat o vesmírném turismu a samoplátcích. Abychom vytvořili správné podmínky pro vesmírné cestování a uspokojili tak všechny cestovatele, musí se kosmický potravinový systém inovovat. Ze zdrojů víme, že astronauti uvádějí snížené vnímání chuti a zážitek z jídla je popisován jako méně silný až nevýrazný. Z tohoto důvodu astronauti touží po chuťových přísadách a pikantních omáčkách. Podle výsledky průzkumu Obrist a kol. se vyvinula speciální dochucovací kořenící směs s názvem Spice Bomb Mixing, která poskytuje zlepšení chuti potravin a je navržena tak, aby byla příprava jídla interaktivnějším, sociálním či zábavným zážitkem. Součástí výzkumu je i navržení speciální 3D tiskárny, do které si budou moci účastníci vesmírné mise zadat požadavek, na který mají právě chuť či jim jídlo bude moci navolit rodina a přátelé ze Země. Taková potravinářská tiskárna může na vyžádání zpřístupnit požadované chutě rekonstrukcí ingrediencí (viz Obrázek 9). Individualizovaně připravené jídlo poskytne astronautovi potřebný psychosociální zážitek (Orbist a kol., 2019).



(Obrist a kol., 2019)

Obrázek 9: Systém přípravy individuálních pokrmů v 3D tiskárně

5. Zajímavosti

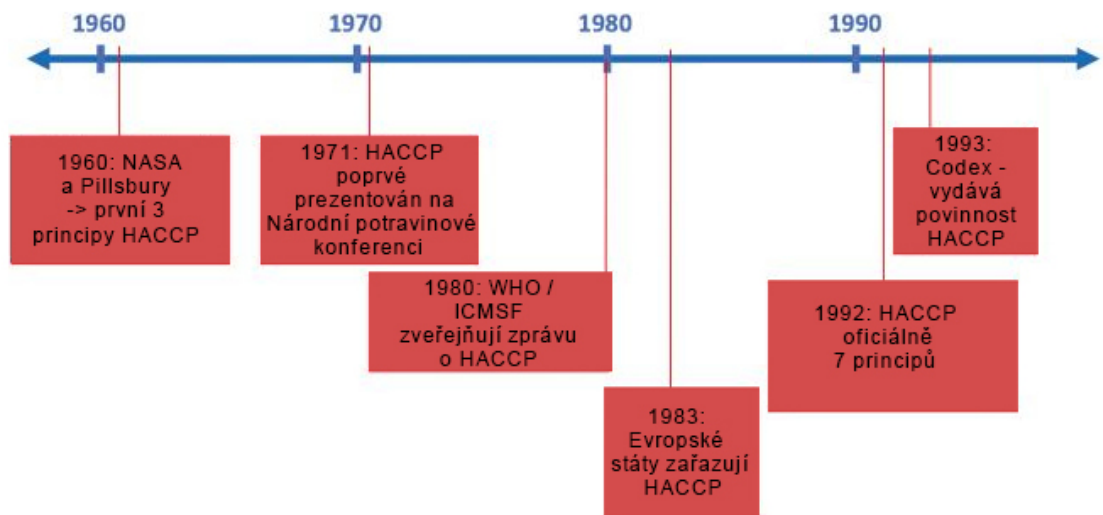
S vesmírnými závody a celkovým dobýváním vesmíru se pojí mnoho zajímavostí i projektů, které tyto pochody doprovázely, pomohly vesmírnému vývinu a do budoucna se zaměřují na zdokonalení dosavadních poznatků a podporu kosmickým misím za hranice vesmíru, jak je známe doposud. Z hlediska výživy a pěstování plodin v extrémních podmínkách se sice výzkumy NASA oficiálně zaměřují na podmínky a mise ve vesmíru, ale podobné produkty mohou pomoci s nedostatečnou výživou či zemědělstvím v nepříznivých oblastech i na Zemi (Meinen a kol., 2018).

5.1. HACCP a jeho historie

Analýza rizik a kritických kontrolních bodů (anglicky Hazard Analysis and Critical Points, HACCP) je systematický přístup k identifikaci nebezpečí, hodnocení rizika a následných kontrol. Koncept HACCP byl poprvé vyvinut v 60. letech organizací NASA ve spolupráci se společností Pillsbury, aby bylo zajištěno jídlo bez malých kousků z potravin či patogenů, které by mohly ohrozit zdraví posádky a úspěšnost celé mise. Byl zapotřebí systém, který poskytne ve vesmíru bezpečné jídlo pro osoby delší dobu oddělených od lékařské péče. Bez lékařského zásahu by astronaut zasažený onemocněním z potravy mohl trpět závažnými následky. Program NASA, HACCP, stanovil přísné limity patogenů pro potraviny a vyžadoval přísné testovací postupy, které umožňovaly, aby veškeré vyrobené pokrmy prošly kontrolou. Provedení tohoto programu umožnilo snížit riziko spojené s potravinovými patogeny v potravinách, ačkoli původní plán HACCP obsahoval pouze tři principy, na rozdíl od sedmi, které dnes známe. Jedná se o:

1. provedení analýzy nebezpečí (fyzikální, chemické a biologické)
2. stanovení kritických kontrolních bodů
3. stanovení znaků a hodnot kritických mezí pro kritické body
4. sledování zvládnutého stavu
5. stanovení nápravného opatření pro kritické body
6. stanovení ověřovacích postupů
7. vedení záznamů

Jakmile se společnost Pillsbury začala zabývat zdokonalením systému HACCP vesmírných programů, začaly jej také implementovat do svých vlastních postupů v oblasti bezpečnosti potravin a od roku 1972 se systém začal rozšiřovat do všech světových potravinářských podniků (Weinroth a kol., 2018).



ICMS - Mezinárodní komise pro mikrobiologické specifikace potravin

(Weinroth a kol., 2018)

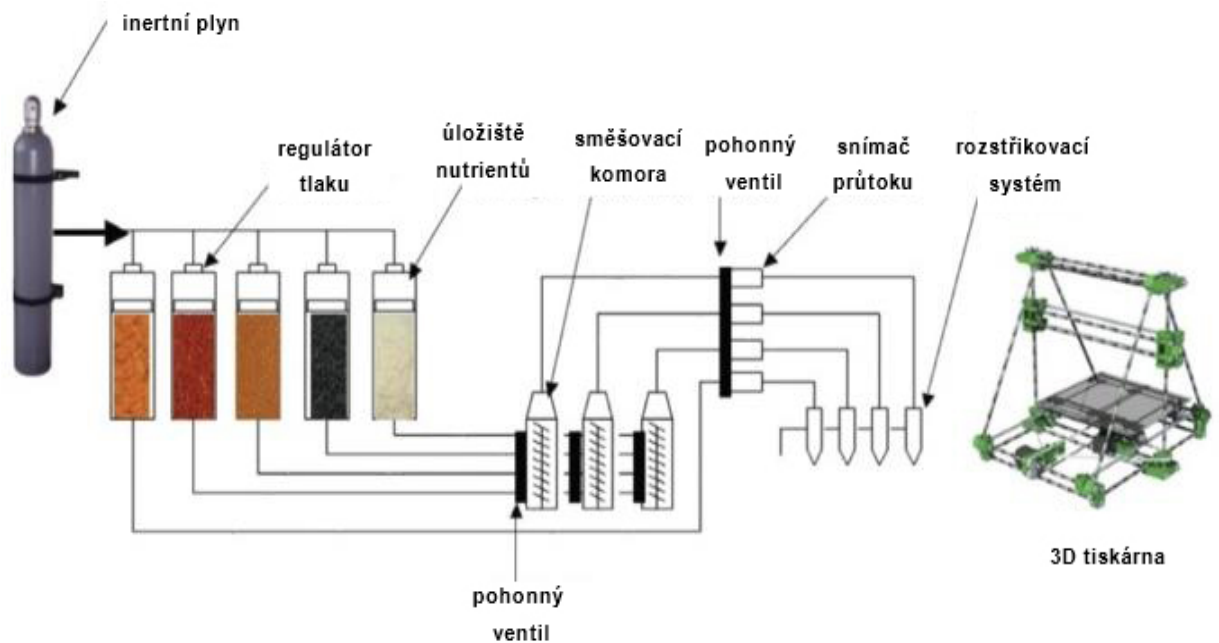
Graf 1: Časová linka HACCP

5.2. Jídelní 3D tiskárny

Zdraví posádky je rozhodující pro úspěch každé vesmírné mise. Čím dále se astronauti dostanou od Země, tím více se snižuje šance na doplňovací mise se zásobami. Například při misi na Mars bude nutné vytvořit zásoby potravin až na 5 let. Jídlo musí zůstat co nejčerstvější, poskytovat přesné množství potřebných živin, vytvářet co nejméně odpadu a být dostatečně chutné, aby jej mohla posádka konzumovat. NASA v současné době zásobuje ISS individuálně zabalenými, stabilními pokrmy, z nichž mnohé vyžadují ohřev ve speciálním ohříváči. Všechny

potraviny jsou ale navrženy tak, aby vydržely pouze 6 měsíců. Trvanlivost pokrmů by určitě podpořilo chladicí zařízení, avšak chlazení potravin ve vesmíru znamená neefektivní využívání vzácných zdrojů. Jídlo zabírá skladovací prostor a později se používané obaly stávají odpadem.

Při pokračujícím hledání nových způsobů, jak astronautům na dlouhodobých misích poskytovat živiny a rozmanitost, NASA v roce 2013 uzavřela smlouvu se společností Small Business Innovation Research s novým nápadem. Společnost navrhla výrobu potravin pomocí 3D tiskárny, do které by se vkládaly sacharidy, bílkoviny a tuky a vytvářely se tak řádně strukturované jedlé potraviny, které by byly doplněny o mikroživiny a aroma. Neochucené makroživiny jako bílkoviny a sacharidy by byly skladovány v podobě suchých prášků a přiváděny přímo do tiskárny, kde by se na tiskové hlavě přimíchával olej či voda. Mikroživiny a příchutě, uložené v balíčcích jako kapaliny nebo pasty, by pak byly dodávány inkoustovým tiskem. Aktuální 3D tiskárny fungují nastavením surovin do dvojrozměrných vzorů na platformě a postupným zvyšováním vrstev až do úplného dokončení. Tímto způsobem se dá připravit jakýkoli druh jídla včetně těstovin, čokolády, náhražky ovoce, sušenky, žvýkačky a přizpůsobená výživa pro různé události jako je například pobyt na oběžné dráze. V dnešních dnech se dá již na ISS vytisknout čokoláda, pizza i burger. Z důvodu rozpočtových škrťů se tak ale často neděje. Tyto živiny, a to je i ve formě prášku, časem degradují, takže se kolektiv vědců z NASA (speciálně z AFT) zaměřil na to, jak tomuto stavu předejít (NASA Spinoff, 2019; Leach, 2014).



(Voříšek, 2013)

Obrázek 10: Schéma 3D tiskárny pro výrobu potravin

5.3. Mars 500

Experiment Mars 500 se uskutečnil v moskevském pozemním experimentálním komplexu v Institutu lékařsko-biologickým problémů na Ruské akademii věd. Trval více než 520 dní. Od 5. června 2010 do 4. listopadu 2011 byla simulována meziplanetární mise dlouhá 250 dní při cestě ze Země na Mars, 30 dní orbitálního pobytu a 240 dní z Marsu zpět na Zemi v kosmické lodi. Cílem tohoto projektu bylo získat výsledky pro zajištění lékařsko-biologické bezpečnosti při budoucích misích. Posádka šesti osob byla složena ze tří rusů, dvou Evropanů a jednoho Číňana. Jednalo se o psychologickou, sociologickou a etologickou studii chování posádky v izolovaném a omezeném prostředí. Průzkum týkající se mezilidských a organizačních záležitostí během dlouhých vesmírných misí naznačuje, že čas má vliv na chování členů posádky. Psychologické problémy se týkají možných interindividuálních konfliktů nebo obtíží spojených s omezením ve zmenšeném prostoru. S prodlouženým časem potřebným pro zkoumání vzdálených planet se mise prodlužují a posádky se stávají heterogennějšími, pokud jde o mnohonárodnostní pozadí a styly osobností. V prostředí analogových prostorů, jako jsou například polární stanice, ukázaly psychosociální studie pozitivní vliv kulturních rozdílů mezi posádkami. Členové posádky Mars 500 potvrdili, že mezinárodnostní kultura byla považována za výhodu. Během dlouhého kosmického letu v posádce probíhají různé skupinové procesy. Mění se vnitřní struktura skupiny, funkční role, vzájemné vztahy mezi členy posádky a stoupá pravděpodobnost vzniku konfliktů nejen na palubě kosmické lodi, ale také s řídicím střediskem.

Protože kosmické jídlo na tak dlouho dobu znamenalo velmi vysoké finanční náklady, členům simulované posádky bylo podáváno běžné jídlo, na které byli zvyklí, bez speciálních úprav nutných v prostředí nulové gravitace. Potraviny byly vypočítány přesně na 520 dnů a každá konzumace se spojovala se společenskou událostí a socializací. Vedle zásob jídla si posádka pěstovala bylinky a zeleninu. K dispozici byla i vybavená posilovna stroji podobnými kosmickým stojům pro cvičení na ISS.

Dle okolních studií bylo určeno, že v posádce je velmi pozitivní přítomnost ženy. Smíšené kolektivy jsou výkonnější, nepodléhají tolik stresu a jsou odolnější vůči krizím. Ženy jsou v mnoha ohledech komunikačně zdatnější a do kolektivu vnášejí potřebnou dynamiku. Jedním z mnoha výstupů projektu Mars 500 bylo, že i ta nejlépe vybraná posádka podle psychologických parametrů potřebuje pro tak náročnou misi analytickou či poradenskou podporu ze Země. Existuje nespočet individuálních rozdílů, jak se členové posádky s dlouhodobou izolací vypořádají a tyto reakce se nedají předem odhadnout. Dalším výstupem experimentu byl důležitý údaj, že pro aklimatizaci jsou nejdůležitější první dva měsíce a dále už se stav nezhoršuje. To znamená pro mise do hlubokého vesmíru velmi pozitivní zjištění (Tafforin, 2013; Bahboub a kol., 2014).

5.4. HI-SEAS

Oficiální anglický název The Hawai's Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS) je spojován se stanovištěm na izolovaném místě podobném Marsu na severním svahu nejaktivnější štítové sopky Mauna Loa na Havaji ve výšce 2400 m.n.m. Podmínky stanoviště

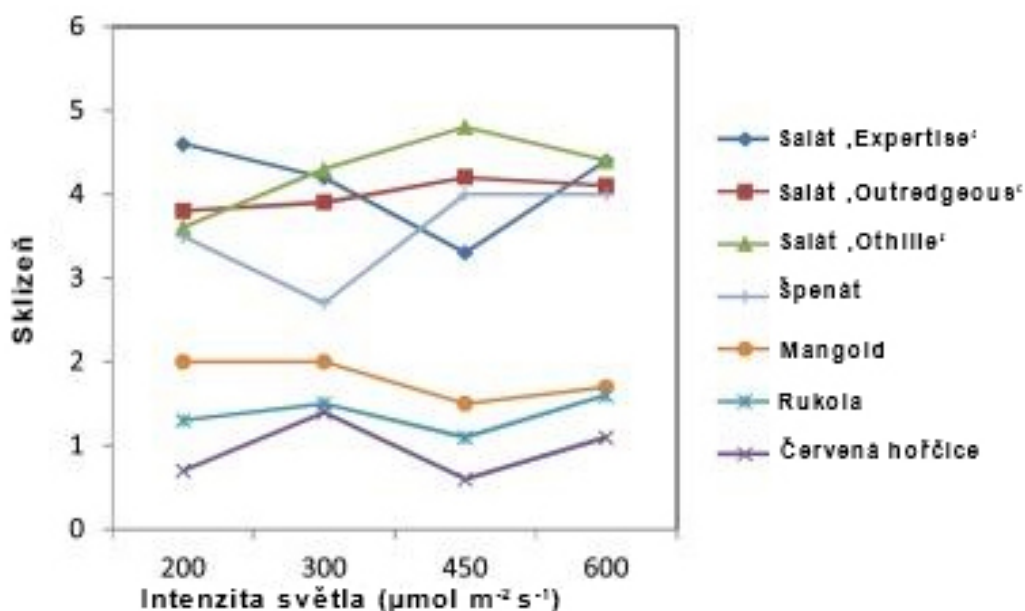
jsou navrženy tak, aby byly podobné podmínkám mise pro průzkum planet. Oblast, kde se tato experimentální laboratoř nachází, má vlastnosti podobné Marsu. Cílem HI-SEAS je dozvědět se více o tom, jak udržet astronauty zdravé a spokojené během dlouhých vesmírných misí, které mohou být fyzicky, psychicky i emocionálně náročné. První studie byla provedena v roce 2013 a program je stále aktivní a nadále financován a sponzorován NASA. Mise trvají od čtyř měsíců do jednoho roku. Členové této fiktivní mise se vybírají z tisíce uchazečů a finální verzi tvoří většinou 6 jedinců, kteří vyjdou z řad speciálních testů jako nejkompentnější pro tento projekt.

Účelem podrobných výzkumných studií je určit, co je potřeba k udržení zdravé a psychicky vyrovnané posádky vesmírných letů během delší mise na Mars či při pobytu na jeho povrchu. Primárním zaměřením je výzkum potravin, dynamiky psychosociálních vztahů posádky, změny chování, rolí a výkonu či dalších aspektů kosmického letu a samotné mise na Marsu. NASA se snaží studovat a pochopit vývoj dynamiky posádky, morálky, zvládnání stresu a to, jak posádka řeší problémy jako skupina. Z hlediska potravin členové fiktivní mise důsledně testují několik alternativních stylů stravování v podobě balených potravin připravených k okamžité konzumaci či pokrmů, které si posádka může ze skladovatelných ingrediencí dostupných v jejich prostředí připravit. Všechna zkonzumovaná strava je důkladně zhodnocena i se zaznamenáním účastnickových pocitů či nálad, změn tělesné hmotnosti a zdravotním stavu. Ze studie Englera a kol. vyplynulo, že obyvatelé malého prostřední mohou být značně ovlivněni chováním jiného člověka, což může vést k dramatickým změnám ve spotřebě potravin, které by mohly způsobit odchýlení se od předpokládaných modelů až k bodu úplného selhání. Práce zjistila, že zahrnutí denních činností a monitorování psychologických stavů posádky umožňuje vyšší přesnost dlouhodobých předpovědí. Vedle pečlivého zdokumentování a zvážení svého denního příjmu potravin se provádí řada dalších výzkumů v oblasti jako je robotika, cvičení, spánkové vzorce, biologie a geologie (Engler a kol., 2019; Mahnert a kol, 2021; HI-SEAS, n. d.).

5.5. Pěstování rostlin ve vesmíru

Z mnoha důvodů je vesmírné prostředí neslučitelné s přežitím pozemského života. Země je jediná planeta sluneční soustavy, jejíž chemické složení a fyzikální vlastnosti umožňují existenci živých bytostí. Jakákoli vesmírná iniciativa člověka musí zahrnovat potřebnou ochranu nebo stísnění v kosmické lodi či stanoviště proti nepřátelským faktorům vesmírného prostředí. Pěstování plodin ve specifických podmínkách mikrogravitace a vesmíru je nezbytné pro realizaci úspěšných budoucích kosmických misí. Přestože základní plodiny lze konzervovat dlouhodobě sušené, prioritou se stala produkce zeleniny, u níž se prokázalo, že má příznivé psychologické účinky na členy posádky. Pěstování rostlin během vesmírných misí se musí vyrovnat s faktory jako je gravitace a záření, které je při pěstování rostlin na Zemi obtížné správně simulovat. Salátové plodiny budou první potraviny pěstované na planetárním povrchu, protože potřebují velmi malé nároky na zpracování. Zvažována je také čerstvá zelenina jako například mrkev, rajčata, ředkvičky, špenát, mangold, zelí a cibule. Rozmanitost v nabídce, struktuře a barvě poskytnou větší psychologický přínos (Medina, 2020).

Projekt EDEN ISS (demonstrace technologií pěstování rostlin ve vesmíru) financován EU se snažil vyvinout pěstivelský systém pro čerstvou zeleninu, který může fungovat při reálných podmínkách vesmírné mise. Při výzkumu byly testovány různé režimy světla, teploty a kultivace. Vyšší teploty 23-25 °C zvýšily produkci některé zeleniny, ale opětovný růst bylin zaostával. Pro všechny plodiny dohromady byly nejpřístavnější teploty 19-21 °C. Z hlediska intenzity světla se plodiny velmi liší, avšak průměrná ideální hodnota byla nastavena na 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (viz Graf 2). Závěrečným stanoviskem této studie bylo, že čerstvá jídla mohou být pěstována za omezených prostorových podmínek v množství 11 kg na 1 m² za týden a výhodnější sklizeň je tzv. roztroušená, kdy se každý týden sklídí nejstarší části rostliny. Na rostlině se vždy ponechá několik neporušených listů, které zařídí, že rostlina přežije a vyprodukuje nové čerstvé listy možné zhruba po 10 dnech znovu sklídit. Posledním hlavním výstupem byla doložená fakta, že kvalita listové zeleniny se zhoršuje při vyšších intenzitách světla (Meinen a kol., 2018).



(Meinen a kol., 2018)

Graf 2: Rozdíly vlivu intenzity světla pro různé plodiny

Schopnost pěstovat bezpečné a čerstvé jídlo jako doplněk balených potravin astronautů ve vesmíru je stále aktuálním důležitým cílem NASA. Ve spolupráci se společností Orbitec byl vyvinut systém produkce zeleniny s oficiálním názvem Veggie (Vegetable Production System). Konceptem tohoto produktu je jednoduchý systém s nízkou spotřebou energie pro pěstování čerstvého a výživného jídla pro členy vesmírné posádky na palubě vesmírné lodi, který doplňuje jejich stravu a slouží jako nástroj k podpoře relaxace formou zahradičení. Na ISS se tento produkt nachází již od roku 2014. Hlavním cílem studie Khodadada a kol. z roku 2020 bylo identifikovat kandidáty na plodiny s vysokým potenciálem doplnění stravy v podobě minerálních látek a vitamínů vzhledem k omezením spojených se současnou vesmírnou stravou a zhodnotit její mikrobiální a nutriční složku. Průběžné testování ukázalo, že některé základní živiny mají buď nedostatek ve zpracovaných a balených potravinách (draslík, vitamin K) nebo se mohou degradovat po dobu dlouhodobé mise (vitamin B₁, vitamin C). Některé z těchto živin

mohou být doplněny právě čerstvými salátovými plodinami vypěstovanými přímo na ISS. Mikrobiologické testování je nedílnou součástí každého programu bezpečnosti potravin k ověření kvality, produkce a správného zacházení, ale pro rostliny pěstované ve vesmíru existuje prozatím velmi málo studií. Podmínky růstu, okolního prostředí a obsah vitamínů a minerálů mohou ovlivnit mikrobiální populace žijící na povrchu rostlin. Pravděpodobnost kontaminace a růstu potenciálních lidských patogenů na rostlinách pěstovaných ve Veggie je nízká, protože lze kontrolovat sterilizaci pomocí speciálních počítačů (Khodadad a kol., 2020).

Vedle Veggie je na palubě ISS přítomná od roku 2018 i další růstová komora s názvem APH (Advanced Plant Habitat) sloužící také pro výzkum rostlin. Využívá LED světla a porézní jílový substrát s řízeným uvolňováním, které dodává vodu, živiny a kyslík do kořenů rostlin. Na rozdíl od Veggie je komora uzavřená a automatizovaná kamerami s více než 180 senzory, které jsou v neustálém interaktivním kontaktu s týmem na Zemi, tudíž nepotřebuje mnoho každodenní péče posádky. Když je sklizeň připravena pro výzkumné studie, posádka sbírá vzorky rostlin, zmrazí je či chemicky zafixuje a pošle zpět na Zemi, kde je zelenina analyzována a studována (Heiney, 2021).

5.6. Program Artemis

V roce 2017 Národní úřad pro letectví (NASA), Evropská kosmická agentura (ESA), Japonská agentura pro průzkum kosmonautiky (JAXA), Kanadská kosmická agentura (CSA), Australská kosmická agentura (ASA) a komerční kosmické společnosti pro vesmírné lety oznámily společnou misi Program Artemis. Cílem tohoto programu je dopravit první ženu na Měsíc do roku 2024 a do roku 2028 zřídit měsíční základnu s neustálou přítomností lidí. Program je součástí dlouhodobější strategie NASA směřující k vyslání člověka na Mars do roku 2030 (Dunbar, 2020).

Co se týče technického zabezpečení dopravy lidí na Měsíc či Mars, jsou vědci mnohem blíže, než k vytvoření požadovaného potravinového systému pro tak dlouhé mise. Jídlo se stává hlavním omezujícím faktorem. Odhaduje se, že vesmírná mise na Mars bude trvat více než 3 roky a astronauti budou potřebovat potraviny s životností až 5 let (Cooper a kol., 2011). Při přípravě potravinového systému je nutné brát v úvahu, že jídlo není jen zdrojem živin, ale mělo by také zajistit osobní a emoční pohodu a sloužit jako protipatření proti psychologickým výzvám, se kterými se budou astronauti setkávat při misích do hlubokého vesmíru (Orbist a kol., 2019).

Lidé se budou muset poprvé vypořádat s fenoménem „země mimo dohled“, což může vést k extrémní patologické separační úzkosti, která by mohla způsobit existenční krizi a poškodit celou misi (Cahill & Hardiman, 2020).

5.7. Projekt Marsonaut

Cílem českého projektu Marsonaut pod vedením mladého vědce Jana Lukačeviče je vypěstovat vybrané plodiny v podmínkách, které simulují život na Marsu. Tento projekt vznikl v roce 2019 a probíhá na České zemědělské univerzitě v Praze a je k němu využívána speciální technologie aeroponie. Jedná se o podobnou technologii jako hydroponie, kdy jsou rostliny pěstovány bez půdy pouze ve vodě. Na ČZU se nachází aeroponická laboratoř, kde se rostliny také nesází do půdy, ale jsou volně zavěšené ve vzduchu. Díky této metodě kořeny rostlin lépe dýchají a rostliny se vyznačují rychlým růstem. Rostlinné části jsou uměle osvětlovány světlem, které nejvíce vyhovuje jejich růstu a živný roztok je rozprašován na jejich kořenový systém. Momentálně se testují tři hlavní plodiny. Jedná se o bazalku, ředkvičky a salát. Při projektu se vědci snaží připravit i na vesmírné komplikace jako například prachové bouře.

Projekt má obrovský přesah. Pěstování rostlin v extrémních podmínkách najde uplatnění nejen ve vesmíru, ale také v oblastech na Zemi, které trpí nebo v budoucnu budou trpět nedostatkem vody (Af.czu.cz, 2019).



(Af.czu.cz, 2019)

Obrázek 11: Příklad pěstování rostlin pomocí aeroponie

5.8. Projekt Eat like a Martian

Vědci z univerzity na Floridě, Kevin Cannon a Daniel Britt, zkoumali, jak by se mohla v budoucnu žít kolonie na planetě Mars. Ačkoli se NASA pokouší pěstovat některé plodiny na ISS, jde pouze o doplnění vitamínů a minerálů ve standardní stravě astronautů, ale nebere se v potaz soběstačnost vesmírné stanice. Vědci pod záštitou americké technologické společnosti SpaceX založili projekt Eat like a Martian (v českém překladu Jez jako Marťan). Cílem tohoto projektu je učinit několik předpokladů o druzích zemědělství, které by mohlo na Marsu prosperovat. Zakladatelé projektu věří, že marťanská kolonie by mohla dosáhnout soběstačnosti do 100 let

od prvního trvalého osídlení. Došlo by tak k vyhnutí se přepravě obrovského množství potravin ze Země spojeného s enormními výdaji. Podle Cannona a Britta je nejdůležitější zaměřit se na:

Plodiny

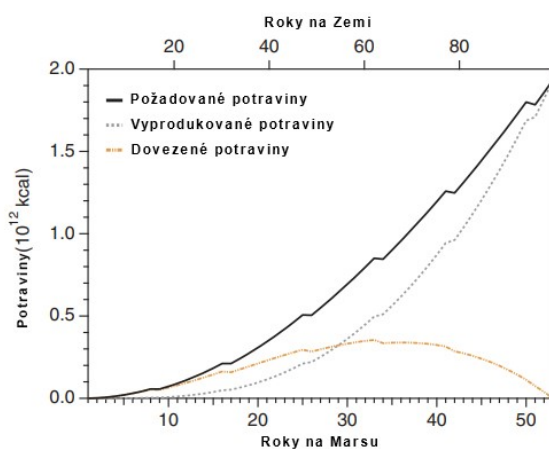
Většina rostlin pěstovaných na Zemi může být pravděpodobně pěstována také na Marsu a to buď hydroponicky či vhodně upravené půdě. Marťané budou potřebovat plodiny s vysokým výnosem jako je pšenice a kukuřice, které budou geneticky upravené tak, aby rostly za vyšších podmínek CO₂. Pravděpodobně budou využívány vnitřní skleníky s umělým světlem, protože prachové bouře by světlo blokovaly. Do budoucna se upřednostňují rostliny s nízkým obsahem vody jako jsou například fazole a brambory.

Masné výrobky

Maso na bázi buněk či kultivované maso se vyrábí ze zvířecích buněk a nevyžaduje jejich porážku. V současné době toto maso ještě není připravováno, ale jeho vývoj je velmi blízko. Chov hospodářských zvířat pro mléčné výrobky a maso v blízké budoucnosti nebude na Marsu možný kvůli nerealizovatelnosti vesmírné přepravy velkých zvířat a absenci zařízení potřebných k jejich umístění na povrchu Marsu. V potaz se také bere maso připravované z hmyzu, které se osvědčilo jako dobrý zdroj bílkovin. Hmyz poskytuje mnohem více kalorií na metr čtvereční než tradiční zdroje bílkovin a hmyzí mouku lze použít v běžných receptech. Dalším vhodným zdrojem bílkovin jsou například jednobuněčné proteiny. Jedná se o řasy či houby, které mohou být hromadně vyráběny v bioreaktorech nebo fermentačních nádržích za použití vhodných živných roztoků a mohou poskytovat bohaté zdroje bílkovin a vlákniny bez obsahu cholesterolu a tuku.

Dovoz potravin ze Země

Předpokládá se, že 2105 kg baleného jídla bude vypuštěno na Mars před prvním přistáním člověka a bude k dispozici původní populaci. Odesílání potravin na Mars bude z hlediska nákladů na vypuštění do vesmíru velmi nákladné, takže raní Marťané by měli co nejdříve vybudovat potravinová zařízení, které zásadně využije místní zdroje.



(Cannon & Britt, 2019)

Graf 3: Potravinový plán při osídlování Marsu

Udržitelný ekosystém

V marťanské lidské kolonii by se nemělo ničím plýtvat. Potravinový odpad by měl být podáván hmyzu, lidský odpad by měl být využíván k hnojení rostlin a rýžové slupky by měly být použity jako stavební materiál (Cannon & Britt, 2019; Eat like a Martian, n.d.).

6. Diskuze

V první části mé diplomové práce jsem zmapovala všechna fyziologická rizika spojená s působením mikrogravitace na účastníky vesmírných misí. Zaměřila jsem se na změny spojené se svalovým, kosterním, kardiovaskulárním, centrálně nervovým, trávicím a imunitním systémem. Důležité je poznamenat rizika spojená s působením kosmického záření a jaký vliv na jedince bude mít dlouhodobá izolace v uzavřeném prostředí. Každý kosmonaut či astronaut musí před odletem podstoupit řadu speciálních lékařských vyšetření, která se zaměřují na jeho zdravotní i psychický stav. Tento fakt nám dokazuje, že účastníci vesmírných misí jsou vhodnými probandy pro výzkumy, ale odhaluje se skutečnost, že každý účastník je velmi silný jedinec, který je schopen odolat většině překážek spojených s působením mikrogravitace a dlouhými lety v uzavřeném prostoru, ale jeho reakce se pravděpodobně budou lišit od běžného člověka s přidruženými onemocněními. Než se bude moci mimo gravitační pole Země dostat běžný civilní občan, bude potřeba ještě několik let výzkumu.

V druhé části jsem popsala druhy vesmírných potravin a seznámila čtenáře s pravidly, které musí potravinový systém během vesmírných misí splňovat. Dle ukázek bylo patrné, že je snaha při misích do vesmíru co nejvíce napodobit stravování na Zemi, na které jsou účastníci letu zvyklí, aby došlo co nejméně ke komplikacím spojených s nedostatečnou výživou. Kvůli omezeným zdrojům a úložnému prostoru na kosmické lodi je důležitá také zabezpečená recyklace vody, která je následně využívána pro rehydrataci potravin. Z dosavadních výzkumů je patrné, že kosmonaut ve vesmíru musí dostávat nabídku kosmických potravin podobné těm pozemským. Teorie o konzumování potravin z tub, v podobně malých vysokoenergetických tabletek či hadiček napodobující parenterální a enterální výživu nebudou nikdy fungovat.

V práci byla popsána sovětská (později ruská) i americká minulost, která nám má přiblížit, jak se kosmické stravování s prodloužením letů vyvíjelo. Zajímavé jsou jednotlivé odlišnosti v potravinovém systému obou států. Jedná se například o rozdíly ve výživovém doporučení během mise, kde byla sovětským kosmonautům doporučována mnohem větší přijatá celková energie, více bílkovin, fosforu, sodíků či železa než americkým astronautům. Sověti měli navíc do vesmírného jídelníčku zařazeny i rostlinné extrakty, dochucovadla a minerály či vitamíny, pro udržení kosmonautů v co nejlepším zdravotním stavu. Doporučení se sjednotila až v roce 1975 při prvním společném mezinárodním programu Apollo-Sojuz. Spojení dvou vesmírných velmocí znamenalo pro kosmonautiku veliký pokrok nejen z hlediska výživové problematiky. Propojení kosmických potravinových systémů je dobře patrné na systému Mezinárodní vesmírné stanici, která měla původně v plánu ukončit svou existenci v roce 2020, ale slouží lidstvu a vesmírným výzkumům i v dnešních dnech (červen 2021). Součástí druhé části diplomové práce bylo také seznámení s problematikou, která se musí vyřešit do budoucna ve spojitosti s lety do hlubokého vesmíru. Jedná se například o stabilní potraviny s obalovým materiálem, které mají trvanlivost a udržitelnost až přes 5 let, ale i o pěstování plodit a přípravu jídla v prostředí částečné gravitace, která budoucí obyvatele čeká.

Ve třetí části jsem se zabývala popsáním vesmírné medicíny a dietologie a zdůraznila rozdíly, se kterými se odborníci setkávají oproti běžné praxi. Kosmonaut a lékař se od sebe nacházejí ve vzdálenosti přes 400 km, a proto je důležité, aby všichni účastníci mise byli vyškoleni pro řešení situací ohrožujících život, které mohou ve vesmíru nastat. Budoucí mise do hlubokého vesmíru se pravděpodobně neobejdou bez kvalifikovaného lékaře na palubě (Hodkinson a kol., 2017). Prozatím spojení mezi kosmonautem a lékařem probíhá na základě telemedicíny pomocí biomedicínských senzorů, biokonektorů nebo například senzorů pro měření kvality spánku. Účastník vesmírné mise je tak neustále kontrolován a při vychýlení ze stabilních hodnot se snaží odborníci na Zemi vše operativně vyřešit a zabránit tak zdravotním komplikacím a ohrožení celé mise. Preventivně se také kosmonautům odebírají vzorky krve, moči i stolice a jsou pravidelně odesílány zpět na Zemi pro následný rozbor a analýzu. Každý kosmonaut je také vycvičen pro správné zacházení s kosmickými potravinami a detekci potravin kontaminovaných, které by mohly způsobit alimentární nákazy. Kdyby na vesmírné lodi v izolovaném prostředí vypukla alimentární či jiná nákaza, mohl by mít tento stav katastrofální následky. Mikroorganismy vykazují ve vesmír poměrně silné chování, což naznačuje, že desinfekční poměry na Zemi nemusí být ve vesmíru tak účinné.

V poslední části své diplomové práce jsem se zaměřila na zajímavosti spojené s objevováním vesmíru a kosmickými lety z hlediska potravin a výživy. Za zmínku stojí určitě jídelní 3D tiskárny, které už na ISS fungují a do budoucna velmi usnadní cestování do hlubokého vesmíru včetně požadavků na kvalitu a pestrost stravy či snížený úložný prostor. Na vysoké úrovni také probíhá výzkum pěstování rostlin ve vesmíru. Projekty jako EDEN ISS, Veggie a český projekt Marsonaut se snaží co nejlépe simulovat vesmírné podmínky a vyvinout tak rostlinné systémy, které obohatí nejen kosmický jídelníček. Co se týče osídlování vesmíru dle programu Artemis, je cílem do roku 2028 zřídit měsíční základnu s neustálou přítomností lidí. Do roku 2030 NASA plánuje vyslat prvního člověka na Mars. Z hlediska technického zabezpečení dopravy lidí na Měsíc či Mars jsou vědci mnohem blíže než k vytvoření požadovaného potravinového systému. Jídlo se tak stává hlavním omezujícím faktorem.

7. Závěr

Hlavním cílem mé neexperimentální diplomové práce bylo dokázat, že výživa hraje významnou roli při cestování do vesmíru i následném osídlování dosud nedostatečně probádaných kosmických oblastí. Pomocí zmapování minulosti, současnosti i budoucnosti vesmírných potravinových systémů a zmíněných neobvyklých specifíků vesmírné medicíny i dietologie jsem se snažila poukázat na to, že za každou cestou do vesmíru stojí nespočet odborníků a vědců, bez kterých by mise nebyla uskutečnitelná.

Věřím, že s rychle rostoucí popularitou a vědeckým poznáním z hlediska objevování vesmíru se brzy kosmické cestování stane běžné i pro civilní turisty. Jsem ráda, že se vesmírná výživa a potravinové systémy dostávají do většího povědomí a na jejich důležitost se bere veliký ohled.

8. Seznam použité literatury

Af.czu.cz. (2019, 6. srpna). *Aeroponická laboratoř*. Dostupné z: <https://www.af.czu.cz/cs/r-7181-aktuality-fappz/aeroponicka-laborator.html>

Afonin, B. V., Sedova, E. A., Goncharova, N. P. & Solov'eva, A. A. (2011). Investigation of the evacuatory function of the gastrointestinal tract in 5-day dry immersion. *Aviakosmicheskaja i ekologicheskaja meditsina = Aerospace and environmental medicine*, 45(6), 52–57.

Akiyama, T., Horie, K., Hinoi, E., Hiraiwa, M., Kato, A., Maekawa, Y., Takahashi, A. & Furukawa, S. (2020, květen). How does spaceflight affect the acquired immune system?. *NPJ Microgravity*. 7, 6(14). doi: 10.1038/s41526-020-0104-1.

Altman, P. L. & Talbot, J. M. (1987). Nutrition and metabolism in spaceflight. *The Journal of nutrition*, 117(3), 421–427. doi.org/10.1093/jn/117.3.421.

Axpe, E., Chan, D., Abegaz, M. F., Schreurs, A. S., Alwood, J. S., Globus, R. K. & Appel, E. A. (2020, leden). A human mission to Mars: Predicting the bone mineral density loss of astronauts. *PloS one*, 15(1). doi.org/10.1371/journal.pone.0226434.

Bahbouh, R., Sněhotová, J., Děchtěrenko, F. & Sýkora, F. (2014). *Mars-500: Fakta a postřehy ze simulovaného letu na rudou planetu*. Praha, Česko: Academia.

Barzegari, A. & Saei, A. A. (2012). Designing probiotics with respect to the native microbiome. *Future microbiology*, 7(5), 571–575. doi.org/10.2217/fmb.12.37.

Beheshti, A., Miller, J., Kidane, Y., Berrios, D., Gebre, S. G. & Costes, S. V. (2018). NASA GeneLab Project: Bridging Space Radiation Omics with Ground Studies. *Radiation research*, 189(6), 553–559. doi.org/10.1667/RR15062.1.

Blodgett, R. (2021, 10. února). *Careers at NASA: Explore the Extraordinary, Every Day*. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/careers>.

Blue, R. S., Chancellor, J. C., Antonsen, E. L., Bayuse, T. M., Daniels, V. R. & Wotring, V. E. (2019). Limitations in predicting radiation-induced pharmaceutical instability during long-duration spaceflight. *NPJ microgravity*, 5, 15. doi.org/10.1038/s41526-019-0076-1.

Bluth, B. J. & Helppie, M. (1986). *Soviet Space Stations as Analogs* (2. vydání). Kalifornie, USA: National Aeronautics and Space Administration NASA.

Bonasso, P. (2001, 22. června). Intelligent Control of a NASA Advanced Water Recovery System. *Texas Robotics & Automation Center Laboratories*. Dostupné z: http://robotics.estec.esa.int/i-SAIRAS/isairas2001/papers/Paper_AM067.pdf.

Bourland, C. T. & Smith, M. C. (1991). Selection of human consumables for future space missions. *Waste Manage Res*, 9(1), 339-344.

- Brief, J. (2021, 24. únor). Space Food Systems. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/content/space-food-systems>.
- Burkhardt, K., Allaire, B., Anderson, D. E., Lee, D., Keaveny, T. M. & Bouxsein, M. L. (2019, October). Effects of Long-Duration Spaceflight on Vertebral Strength and Risk of Spine Fracture. *Journal of Bone and Mineral Research*, 32(2), 269-276, doi.org/10.1002/jbmr.3881.
- Cahill, T. & Hardiman, G. (2020). Nutritional challenges and countermeasures for space travel. *Nutrition Bulletin*, 45(1), 98-105.
- Cannon, K. M. & Britt, D. T. (2019). Feeding One Million People on Mars. *New Space*, xx, xx. doi: 10.1089/space.2019.0018.
- Cooper, M., Douglas, G. & Perchonok, M. (2011). Developing the NASA food system for long-duration missions. *Journal of food science*, 76(2), R40–R48. doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01982.x.
- Crucian, B. E., Choukèr, A., Simpson, R. J., Mehta, S., Marshall, G., Smith, S. M. ... Sams, C. (2018). Immune System Dysregulation During Spaceflight: Potential Countermeasures for Deep Space Exploration Missions. *Frontiers in immunology*, 9, 1437. doi.org/10.3389/fimmu.2018.01437.
- Diedrich, A., Paranjape, S. Y. & Robertson, D. (2007, červenec). Plasma and Blood Volume in Space. *The American Journal of the Medical Sciences*, 334(1), 80-86. doi.org/10.1097/MAJ.0b013e318065b89b.
- Dobie, T. G. (2019). *Motion Sickness: A Motion Adaptation Syndrome*. New Orleans, LA, USA: Springer.
- Douglas, G. L., Cooper, M. R., Wu, H., Gaza, R., Guida, P. & Young, M. (2021, únor). Impact of galactic cosmic ray simulation on nutritional content of foods. *Life Sciences in Space Research*, 28(1), 22-25. doi.org/10.1016/j.lssr.2020.12.001.
- Douglas, G., Cooper, M., Bermúdez-Aguirre, D. & Sirmons, T. (2016, 26. června). *Evidence report: Risk of Performance Decrement and Crew Illness Due to an Inadequate Food System*. Dostupné z: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/Food.pdf>.
- Dunbar, B. (2014, 22. ledna). *International Space Station Timelines*. Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/timelines/index.html.
- Dunbar, B. (2020, 5. dubna). *Artemis, Humanity's return to the moon Available*. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/#top>.
- Eat like a Martian* [website]. (n.d.). Dostupné z: <https://eatlikeamartian.org/>.
- Engler, S. T., Binsted, H. & Leung, H. (2019, září). HI-SEAS habitat energy requirements and forecasting. *Acta Astronautica*, 162(1), 50-55. doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.05.049.

- Enrico, C. (2016, říjen). Space nutrition: the key role of nutrition in human space flight. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/1610.00703>.
- ESA - The European Space Agency [website]. (n.d.). Dostupné z: <https://www.esa.int/>.
- Ezell, E. C. & Ezell, L. N. (2010). *The Partnership: A NASA history of the Apollo-Soyuz Test project*. Washington, D.C., USA: Dover Publications, Inc.
- Hall, R. & Shayler, D. (2001). *The Rocket Men: Vostok & Voskhod. The First Soviet Manned Spaceflights*. Londýn, VB: Springer-Verlag London.
- Harland, D. M. (2005). *The Story of Space Station Mir*. Chichester, VB: Praxis Publishing.
- Hinkelbein, J., Komorowski, M. & Grau, S. (2018). Effects of Spaceflight on Astronaut Brain Structure. *The New England journal of medicine*, 378(6), 582. doi.org/10.1056/NEJMc171606.
- HI-SEAS [website]. (n.d.). Dostupné z: <https://www.hi-seas.org/>.
- Heiney, A. (2021, 19. ledna). *Growing Plants in Space*. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/content/growing-plants-in-space>.
- Hodkinson, P. D., Anderton, R. A., Posselt, B. N. & Fong, K. J. (2017, prosinec). An overview of space medicine. *British Journal of Anaesthesia*, 119(1), i143-i153. doi.org/10.1093/bja/aex336.
- Holub, A. (2006, 7. března). *MEK. Malá encyklopedie kosmonautiky* [online]. Kapitola Mir. Dostupné z: https://mek.kosmo.cz/pil_lety/rusko/mir/mir.htm.
- Horneck, G., Klaus, D. M. & Mancinelli, R. L. (2010). Space microbiology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 74(1), 121–56.
- Howell, E. (2014, 30. listopadu). Lattes in Space! Espresso Machine Will Launch to Space Station. Dostupné z: <https://www.space.com/27300-space-espresso-machine.html>.
- Iosim, S., MacKay, M., Westover, C. & Mason, Ch. E. (2019, prosinec). Translating current biomedical therapies for long duration, deep space missions. *Precision Clinical Medicine*. 2(4). 259-269. doi.org/10.1093/pcmedi/pbz022.
- Johnston, R. S., Berry, Ch. A. & Dietlein, L. F. (1975). *Biomedical Results from Apollo*. Washington, D.C., USA: National aeronautics and space administration.
- Johnston, R. S. & Dietlein, L. F. (1997). *Biomedical Results from Skylab*. Houston, USA: National Aeronautics and Space Administration.
- Khodadad, Ch. L. M., Hummerick, M. E., Spencer, L., E., Dixit, A. R., Richards, J. T., Romeyn, M. W. ... Massa, G. D. (2020, březen). Microbiological and Nutritional Analysis of Lettuce Crops Grown on the International Space Station. *Frontiers in Plant Science*, 11(1), 199. doi.org/10.3389/fpls.2020.00199.

- Klicka, M. V. & Smith, M. C. (1982). *Food for U.S. Manned Space Flight*. Massachusetts, USA: Food Engineering Laboratory.
- Komorowski, M., Fleming, S. & Kirkpatrick, A. W. (2016). Fundamentals of anesthesiology for spaceflight. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 30(3), 781-790. doi.org/10.1053/j.jvca.2016.01.007.
- Kornilova, L.N. & Kozlovskaya, I.B. (2003). Neurosensory Mechanisms of Space Adaptation Syndrome. *Human Physiology*, 29(1), 527–538 . doi.org/10.1023/A:1025899413655
- Kubala, P. (2009). *ISS - Mezinárodní vesmírná stanice*. Kralice na Hané, Česko: Computer Media.
- Lambertz, D., Pérot, Ch., Kaspranski, R. & Goubel, F. (2001, January). Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humus. *Journal Of Applied Physiology*, 90(1), 179-188. doi.org/10.1152/jappl.2001.90.1.179.
- Lane, H. L. & Schoeller, D. A. (2000). *Nutrition in Spaceflight and Weightlessness Models*. New York, USA: CRC Press LLC.
- Launius, R. D. (1999, červenec). NASA History and the Challenge of Keeping the Contemporary Past. *The Public Historian*, 21(3), 63-81. doi.org/10.2307/3378961.
- Leach, N. (2014, listopad). 3D Printing in Space. *Architectural Design*, 84(6), 108-113. doi.org/10.1002/ad.1840.
- Lee, A. G., Tarver, W. J., Mader, T. H., Gibson, C. R., Hart, S. F. & Otto, C. A. (2016). Neuro-Ophthalmology of Space Flight. *Journal of neuro-ophthalmology: the official journal of the North American Neuro-Ophthalmology Society*, 36(1), 85–91.
- Lees, P. J. (2005, září). Cardiology in space. *Hellenic Journal of Cardiology*, 46(5), 320-323.
- Lewis, R. (2017, srpen). Nutritional Biochemistry. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/content/nutritional-biochemistry>.
- Mahnert, A., Verseux, C., Schwendner, P., Koskinen, K., Kumpitsch, Ch., Blohs, M.... Moissl-Eichinger, Ch. (2021, leden). Microbiome dynamics during the HI-SEAS IV mission, and implications for future crewed missions beyond Earth. *Microbiome*, 9(1), 27. doi.org/10.1186/s40168-020-00959-x.
- Mehta, S. K., Crucian, B. E., Stowe, R. P., Simpson, R. J., Ott, C. M., Sams, C. F., & Pierson, D. L. (2013). Reactivation of latent viruses is associated with increased plasma cytokines in astronauts. *Cytokine*, 61(1), 205–209. doi.org/10.1016/j.cyto.2012.09.019.
- Meinen, E., Dueck, T., Kempkes, F. & Stanghellini, C. (2018, květen). Growing fresh food on future space missions: Environmental conditions and crop management. *Scientia Horticulturae*, 235, 270-278. doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.002.

- Medina, F. J. (2020). Growing plants in human space exploration enterprises. *Acta Futura*, 12(1), 151-163. doi.org/10.5281/zenodo.3747367.
- NASA. (2019, 25. listopadu). *NASA - Food for Space Flight*. Dostupné z: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Food_for_Space_Flight.html.
- NASA. (2020, 14. srpna). *Space Station 20th: Food on ISS*. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/space-station-20th-food-on-iss>
- NASA Spinoff. (2019). *Deep-Space Food Science Research Improves 3D-Printing Capabilities*. Dostupné z: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/ip_2.html.
- Nabavi, N., Khandani, A., Camirand, A. & Harrison, R. H. (2011, listopad). Effects of microgravity on osteoclast bone resorption and osteoblast cytoskeletal organization and adhesion. *Bone*, 49(5), 965-974. doi.org/10.1016/j.bone.2011.07.036.
- Nechaev, A. P., Polyakov, V. V. & Morukov, B. V. (2007). Martian manned mission: what cosmonauts think about this. *Acta Astronautica*, 60(4-7), 351-353.
- Nicogossian, A. E., Williams, R. S., , Huntoon, C. L., Doarn, Ch. R., Polk, J. D. & Schneider, V. S. (2016). *Space Physiology and Medicine: From Evidence to Practice* (4. vydání). USA: Springer.
- Paez, M. Y., Mudie, L. I. & Subramanian, P. S. (2020). Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS): A Systematic Review and Future Directions. *Eye and brain*, 12(1), 105-117. doi.org/10.2147/EB.S234076.
- Obrist, M., Tu, Y., Yao, L. & Velasco, C. (2019). Space food experiences: designing passenger's eating experiences for future space travel scenarios. *Frontiers in Computer Science*, 1, 3. doi=10.3389/fcomp.2019.00003.
- Perchonok, M. (2008, leden). The Challenges of Developing a Food System for a Mars Mission. *NASA Johnson Space Center Houston, TX, USA*. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20080012587>.
- Perchonok, M. & Bourland, Ch. (2002, září). NASA food systems: Past, present, and future. *Nutrition*. 18(10). 913-920. doi.org/10.1016/S0899-9007(02)00910-3.
- Reitz G. (2008). Characteristic of the radiation field in low Earth orbit and in deep space. *Zeitschrift fur medizinische Physik*, 18(4), 233-243. doi.org/10.1016/j.zemedi.2008.06.015.
- Seed, T., Kumar, S., Whitnall, M., Srinivasan, V., Singh, V., Elliott, T., Landauer, M.,... Farrell, C. (2002). New strategies for the prevention of radiation injury: possible implications for countering radiation hazards of long-term space travel. *Journal of radiation research*, 43 Suppl, s239-s244. doi.org/10.1269/jrr.43.s239.
- Selina, A. (1989). *Comparison of Soviet and US space food and nutrition programs*. Houston, USA: NASA.

- Simonsen, L. C., Slaba, T. C., Guida, P. & Rusek, A. (2020). NASA's first ground-based Galactic Cosmic Ray Simulator: Enabling a new era in space radiobiology research. *PLoS biology*, 18(5), e3000669. doi.org/10.1371/journal.pbio.3000669.
- Smith, S. M., Zwart, S. R., & Heer, M. (2015). *Human adaptation to spaceflight: The role of nutrition*. Dostupné z: <http://www.nasa.gov/sites/default/files/human-adaptation-to-spaceflight-the-role-of-nutrition.pdf>.
- Šolcová Poláčková, I. (2012). Psychologické souvislosti fyzikálních a fyziologických determinant výkonosti člověka v kosmu. *Československá Psychologie*, 56(2), 191-131.
- Tafforin, C. (2013). Time Effects, Cultural Influences, and Individual Differences in Crew Behavior During the Mars-500 Experiment. *Aviation, Space, Environment Medicine*, 84(10), 1082-1086.
- Tate, K. (2013, 10. května). *International Space Station's Cooling System: Ho It Works (Infographic)*. Dostupné z: <https://www.space.com/21059-space-station-cooling-system-explained-infographic.html>.
- Taylor, A. J, Beauchamp, J. D., Briand, L., Heer, M., Hummel, T., Margot, Ch. ... Spence, Ch. (2020, září). Factors affecting flavor perception in space: Does the spacecraft environment influence food intake by astronauts?. *Comprehensive review in food science and food safety*, 19(6), 3439-3475. doi.org/10.1111/1541-4337.12633.
- Trimarchi, M. (n.d.). *How the NASA Space Food Research Lab Works*. Dostupné z: <https://science.howstuffworks.com/nasa-space-food-research-lab1.html>.
- Turner, T. R. & Sanford, J. D. (1974). *Skylab food system*. Houston, USA: National Aeronautics and Space Center.
- Van Loon, J., Cras, P., Bouwens, W., Roozendaal, W., & Vernikos, J. (2020). Gravity Deprivation: Is It Ethical for Optimal Physiology?. *Frontiers in physiology*, 11, 470. doi.org/10.3389/fphys.2020.00470.
- Van Ombergen, A., Demertzi, A., Tomilovskaya, E., Jeurissen, B., Sijbers, J., Kozlovskaya, I. B., Parizel, P. M., ...Wuyts, F. L. (2017). The effect of spaceflight and microgravity on the human brain. *Journal of neurology*, 264(1), 18–22. doi.org/10.1007/s00415-017-8427-x.
- Vickers Z. (1999). Long-term acceptability of limited diets. *Life support & biosphere science: international journal of earth space*, 6(1), 29–33.
- Vico, L., van Rietbergen, B., Vilayphiou, N., Linossier, M. T., Locrelle, H., Normand, M., Zouch, M. ... Vassilieva, G. (2017, říjen). Cortical and Trabecular Bone Microstructure Did Not Recover at Weight-Bearing Skeletal Sites and Progressively Deteriorated at Non-Weight-Bearing Sites During the Year Following International Space Station Missions. *Journal of Bone and Mineral Research*, 32(10), 2010-2021. doi: 10.1002/jbmr.3188.

Voříšek, L. (2013, 27. května). *NASA koketuje s 3D tiskem jídla: Je libo čerstvou pizzu z tiskárny přímo na ISS?*. Dostupné z: <https://cdr.cz/clanek/nasa-chce-3d-tisk-jidla-prvni-na-rade-je-pizza>.

Weinroth, M. D., Belk, A. D. & Belk, K. E. (2018). History, development, and current status of food safety systems worldwide. *Animal frontiers: the review magazine of animal agriculture*, 8(4), 9–15. doi.org/10.1093/af/vfy016.

Wilford, J. N. (1987, květen). NASA: decline and fall. *Nature*, 327, 289-290.

Yang, J., Jiang, N., Li, Z., Guo, S., Chen, Z., Li, B., Chai, S., Lu, S. ... Cui, Y. (2020, listopad). Effects of microgravity on the digestive system and the new insights it brings to the life science. *Life Sciences in Space Research*, 27(1), 74-82. doi.org/10.1016/j.lssr.2020.07.009.

Zhang, L. F. & Hargens, A. R. (2017, November). Spaceflight-induced intracranial hypertension and visual impairment: pathophysiology and countermeasures. *Physiological Reviews*. 98(1). doi.org/10.1152/physrev.00017.2016.

Zwart, S. R., Kloeris, V. L., Perchonok, M. H., Braby, L. & Smith, S. M. (2009). Assessment of nutrient stability in foods from the space food system after long-duration spaceflight on the ISS. *Journal of Food Science*. 74(7), H209–17.

Seznam zkratek

- AFT - Advanced Food Technology, systém pro okročilou technologii potravin
- ASA - Australian Space Agency, Australská kosmická agentura
- BMD - Bone Mineral Density, hustota minerálů v kosti
- BMR - Basal Metabolic Rate, bazální metabolismu
- cm - centimetr
- CNS - centrální nervový systém
- CO₂ - oxid uhličitý
- CSA - Canadian Space Agency, Kanadská kosmická agentura
- CWC - Contingency Water Containers, systém pohotovostních nádob na vodu
- ČZU - Česká zemědělská univerzita
- DDD - doporučená denní dávka
- DNA - deoxyribonukleová kyselina
- DXA - dvouenergieová rentgenová absorpciometrie
- ESA - European Space Agency, Evropská vesmírná agentura
- EU - Evropská unie
- FDA - Food and Drug Administration, Úřad pro kontrolu léčiv a potravin
- GCR - Galactic cosmic Ray, galaktické kosmické záření
- GIT - gastrointestinální trakt
- h - hodina
- HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points, Systém analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů
- HI-SEAS - Hawaii Space Exploration Analog and Simulation, analogické prostředí pro lidský vesmírný let na Mars
- HPLC - High-performance liquid chromatography, vysokoúčinná kapalinová chromatografie
- ISCH - ischemická choroba srdeční
- ISS - International Space Station, Mezinárodní vesmírná stanice
- IT - informační technologie
- JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency, Japonská národní vesmírná agentura
- JSC - Johnson Space Center, Johnsonovo vesmírné středisko
- kcal - kilokalorie
- kg - kilogram
- kJ - kilojoul
- kol. - kolektiv
- l - litr
- LC-MSMS - Liquid chromatography-mass spectrometry, kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
- LED - Light-Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda
- m - metr
- NASA - National Aeronautics and Space Administration, Národní úřad pro letectví a vesmír
- RNA - ribonukleová kyselina
- s - sekunda
- SANS - Spaceflight associated neuro-ocular syndrome, neurookulární syndrom

- SAS - Space adaptation syndrome, adaptace na vesmírný prostor
- SFSL - Space Food Systems Laboratory, Laboratoř vesmírných potravinových systémů
- STS - Space transportation system, Systém kosmické dopravy
- SSSR - Svaz sovětských socialistických republik
- USDA - United States Department of Agriculture, Ministerstvo zemědělství spojených států
- WRS - Water recovery system, systém obnovy vody
- μmol - mikromol
- °C - Celsiův stupeň

Seznam tabulek

Tabulka 1: Kategorie vesmírné pohybové nemoci.....	14
Tabulka 2: Rozdíly v konzumaci potravin z roku 1989	24
Tabulka 3: Příklad konzumace pokrmů Vostok 5 a 6	25
Tabulka 4: Příklad denního jídelníčku mise Saljut 6.....	28
Tabulka 5: Příklad denního harmonogramu stanice Mir	29
Tabulka 6: Rozdíly ve výživovém doporučení	30
Tabulka 7: Porovnání doporučených a přijatých živin během misí Apollo	33
Tabulka 8: Příklad diety s nízkým obsahem vlákniny před misí Apollo.....	34
Tabulka 9: Ztráta hmotnosti astronautů během misí Apollo.....	35
Tabulka 10: Příklady výběru jídel Space Shuttle	39
Tabulka 11: Přehled DDD na Mezinárodní vesmírné stanici.....	42
Tabulka 12: Přibližný harmonogram posádky ISS	43
Tabulka 13: Přehled zdravotních stavů, které se mohou vyskytnout během mise	48

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vliv mikrogravitace na trávicí systém	15
Obrázek 2: Různé druhy vesmírných potravin	20
Obrázek 3: Kosmonautka V. Těreškovová konzumuje stravu během mise Vostok 6	26
Obrázek 4: Příklady jídel z programu Mercury.....	31
Obrázek 5: Astronaut mise Skylab v lodní kuchyni	37
Obrázek 6: Zjednodušené schéma ISS	41
Obrázek 7: Kalorické deficity vesmírných misí.....	50
Obrázek 8: Aplikace EveryWear	51
Obrázek 9: Systém přípravy individuálních pokrmů v 3D tiskárně	54
Obrázek 10: Schéma 3D tiskárny pro výrobu potravin	56
Obrázek 11: Příklad pěstování rostlin pomocí aeroponie.....	61

Seznam grafů

Graf 1: Časová linka HACCP.....	55
Graf 2: Rozdíly vlivu intenzity světla pro různé plodiny.....	59
Graf 3: Potravinový plán při osídlování Marsu.....	62

Protokol o úplnosti náležitostí diplomové práce

Titul, jméno, příjmení: Bc. Anna Žabová

Název práce: Výživa kosmonautů

Vedoucí práce: doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc

Prohlašuji, že jsem odevzdal (a) vysokoškolskou kvalifikační práci v souladu s: [Opatřením rektora č. 6/2010](http://www.cuni.cz/UK-3470.html) (dostupné z <http://www.cuni.cz/UK-3470.html>)
[Opatřením rektora č. 8/2011](http://www.cuni.cz/UK-3735.html) (dostupné z <http://www.cuni.cz/UK-3735.html>)
[Opatřením děkana č. 10/2010](http://www.lf1.cuni.cz/file/21321/opad10_10.pdf) (dostupné z http://www.lf1.cuni.cz/file/21321/opad10_10.pdf)

Zároveň prohlašuji, že jsem do Studijního informačního systému vložil (a) plný **text vysokoškolské kvalifikační práce** včetně všech povinných souborů podle typu práce:

- abstrakt ČJ
- abstrakt AJ

Při vkládání textu práce a všech souborů jsem postupoval (a) podle návodu dostupného z http://www.lf1.cuni.cz/file/25838/navod_vkladani_prace.pdf.

Nahrané soubory jsem následně zkontroloval (a).

Odpovídám za správnost a úplnost elektronické verze práce a všech dalších vložených elektronických souborů.

1 exemplář práce svázaný v pevné plátěné vazbě + CD ROM s e-verze práce v příloze obsahuje všechny povinné náležitosti:

Příloha č. 1 – Titulní strana, Prohlášení diplomanta, Identifikační záznam, abstrakt v ČJ a AJ - http://www.lf1.cuni.cz/file/21323/opad10_10_pril1.pdf

Příloha č. 6 – Prohlášení zájemce o nahlédnutí - http://www.lf1.cuni.cz/file/21329/opad10_10_pril6.pdf

Datum:

Kontrolu úplnosti náležitostí provedla osoba pověřená garantem:

