

Fiziološke spremembe pri izpostavljenosti mikrogravitaciji in njihovo preprečevanje

doc. dr. Janez Urevc

Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

Laško, 16. april 2025

8. konferenca učiteljev/-ic
naravoslovnih predmetov –
NAK 2025



ZRS
ZAVOD
REPUBLIKE SLOVENIJE
ZA ŠOLSTVO



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA VZGOJO IN IZOBRAŽEVANJE

I FEEL
SLOVENIA



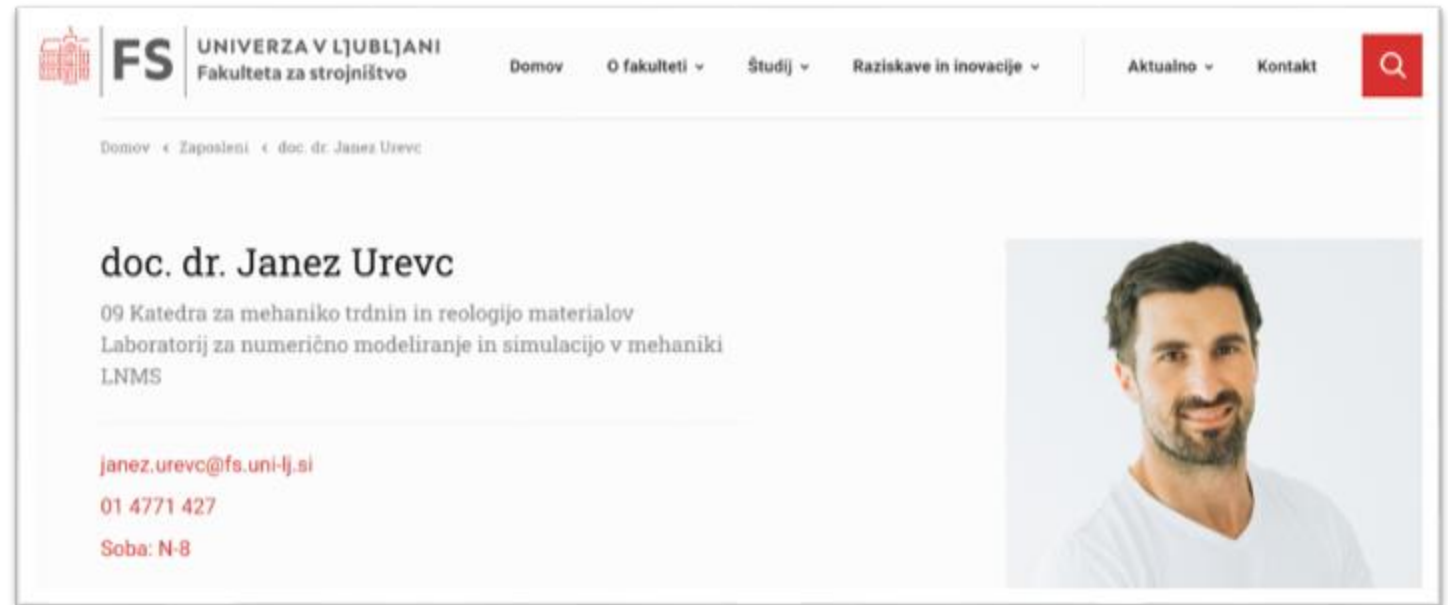
Sofinancira
Evropska unija

Nekaj o meni

Področja delovanja:

- Računalniška mehanika
- Konstitutivno modeliranje
- Numerične sheme
- **Biomehanika**

Modeliranje srčno-žilnega sistema



Vir: <https://www.fs.uni-lj.si/zaposleni/asist-dr-janez-urevc/>

Projekti:

- *ESA: Device for non-invasive determination of jugular vein pressure and the risk of thrombosis (JVPdevice)*
- *ESA: Prediction model of countermeasures efficiency on cardiovascular system and fluid shifting in simulated microgravity conditions (LBNPplan)*

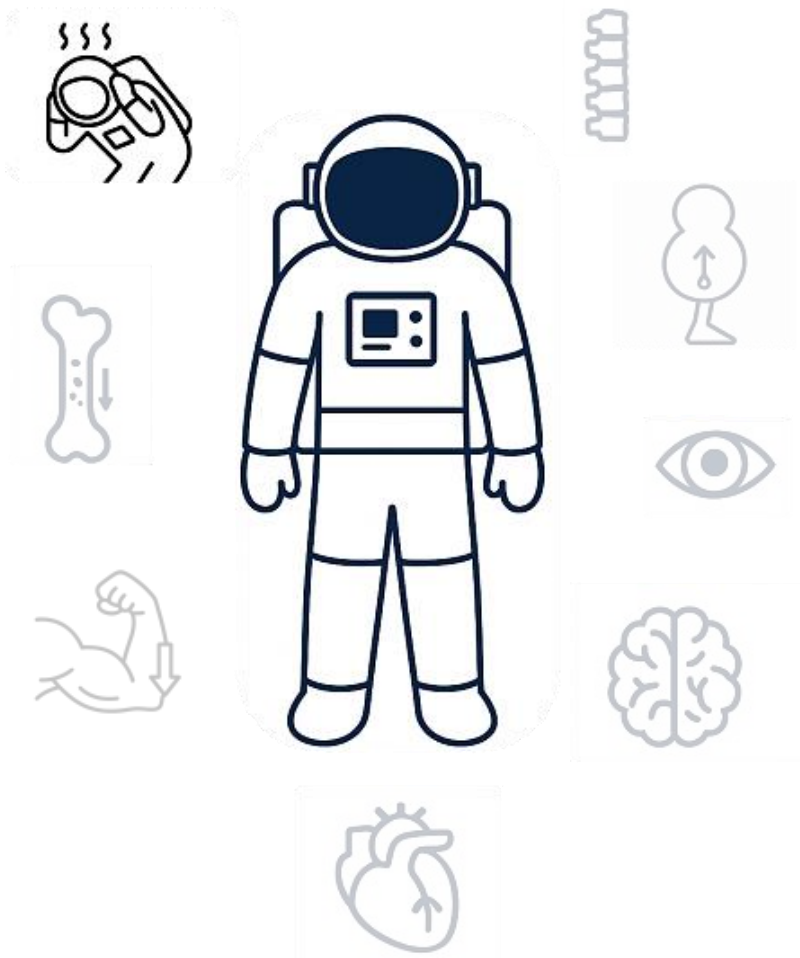
Bivanje v vesolju v primerjavi z Zemljo

- **Breztežnost**
- Hipertežnost (obremenitve pri izstrelitvi in pristanku)
- Sevanje
- Psihološki dejavniki
- Umetno okolje



Vir: <https://www.syfy.com/syfy-wire/the-life-and-death-in-2031-of-the-international-space-station>

Fiziološki odziv na breztežnost



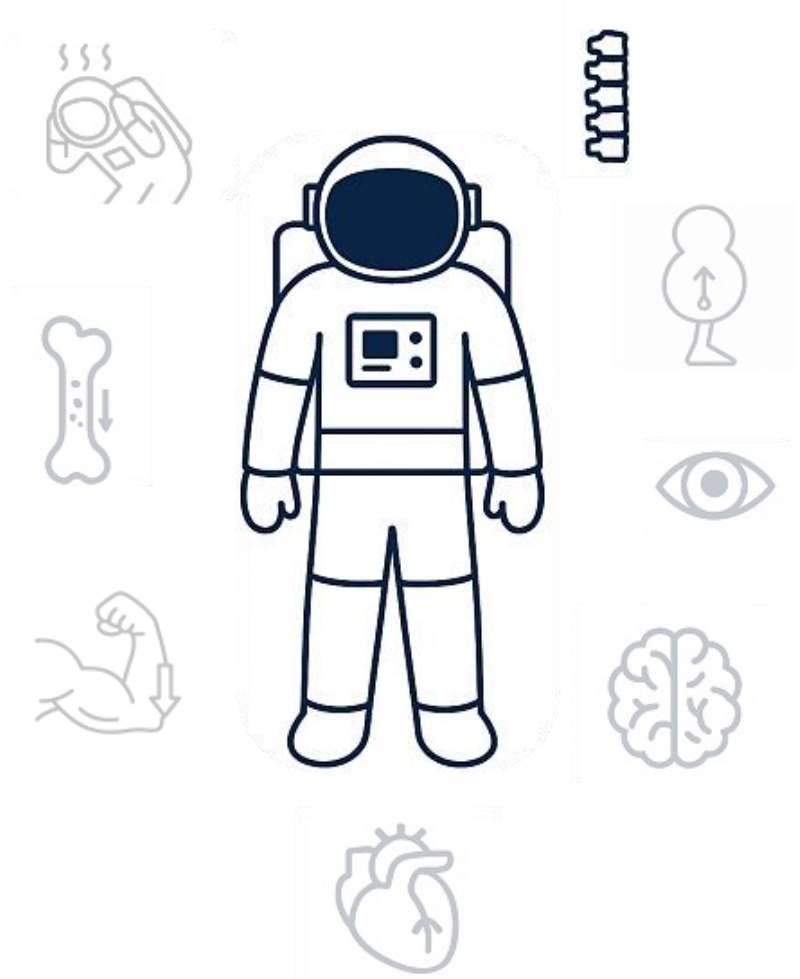
Vesoljska slabost (Space Adaptation Syndrome – SAS)

- Slabost, bruhanje, glavobol, utrujenost
- Prizadene: ~ 50 % astronautov
- V prvih 24-48 urah po prihodu v orbito
- Traja do 3 dni



Vir: <https://born4space.wordpress.com/tag/chicken-leg-syndrome/>

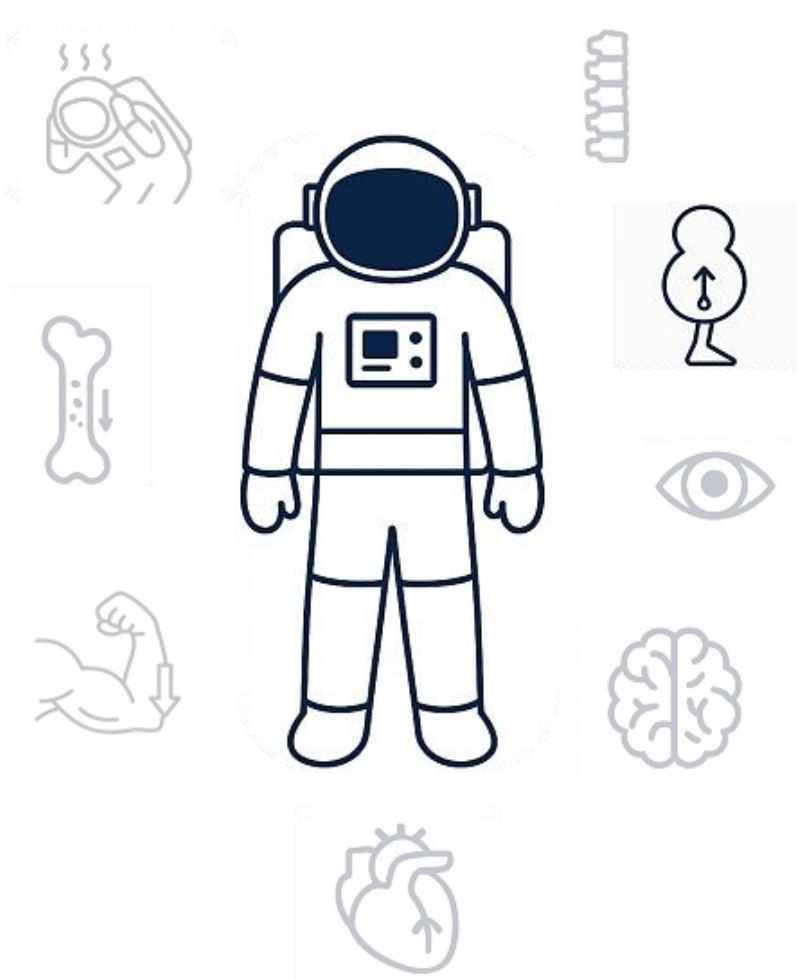
Fiziološki odziv na breztežnost



Rast hrbtenice

- Do 5,5 cm v 24 urah
- Razširitev medvretenčnih diskov
- Sprememba lahko povzroči bolečine v hrbtu
- Po povratku se povrne nazaj v 10 dneh

Fiziološki odziv na breztežnost

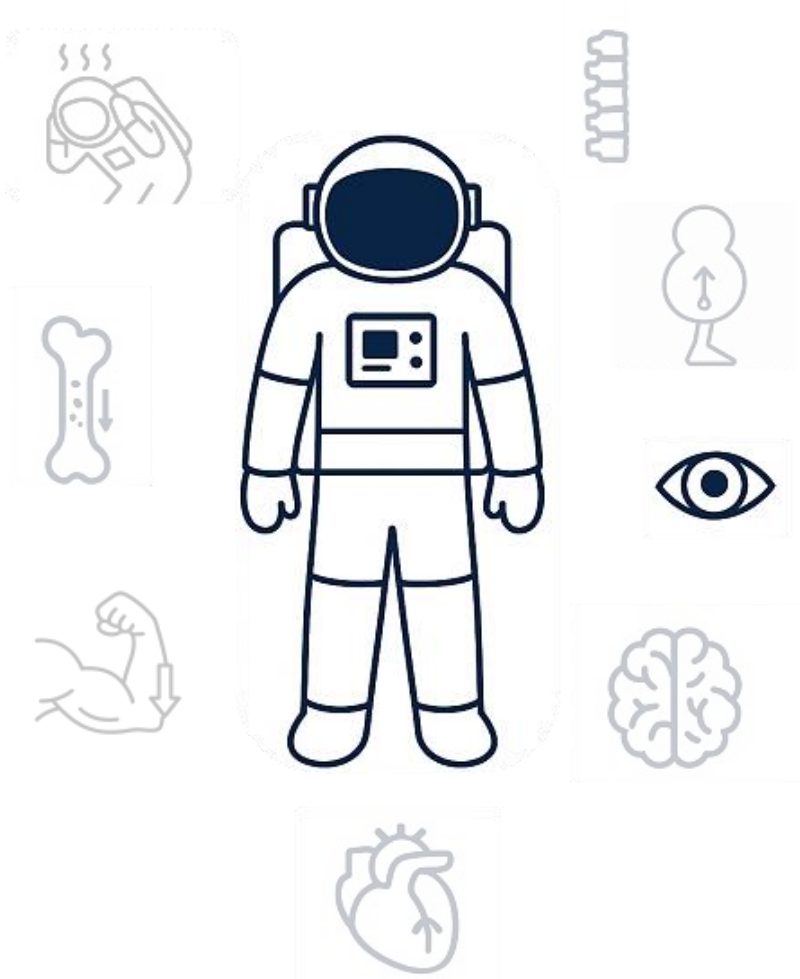


“Zabuhel” obraz, “piščančje” noge

- Premik tekočin iz spodnjega v zgornji del telesa
- Zabuhel obraz, tanjše noge
- Povečano izločanje vode: ~10-15% v 72 urah
- Zmanjšan volumen plazme



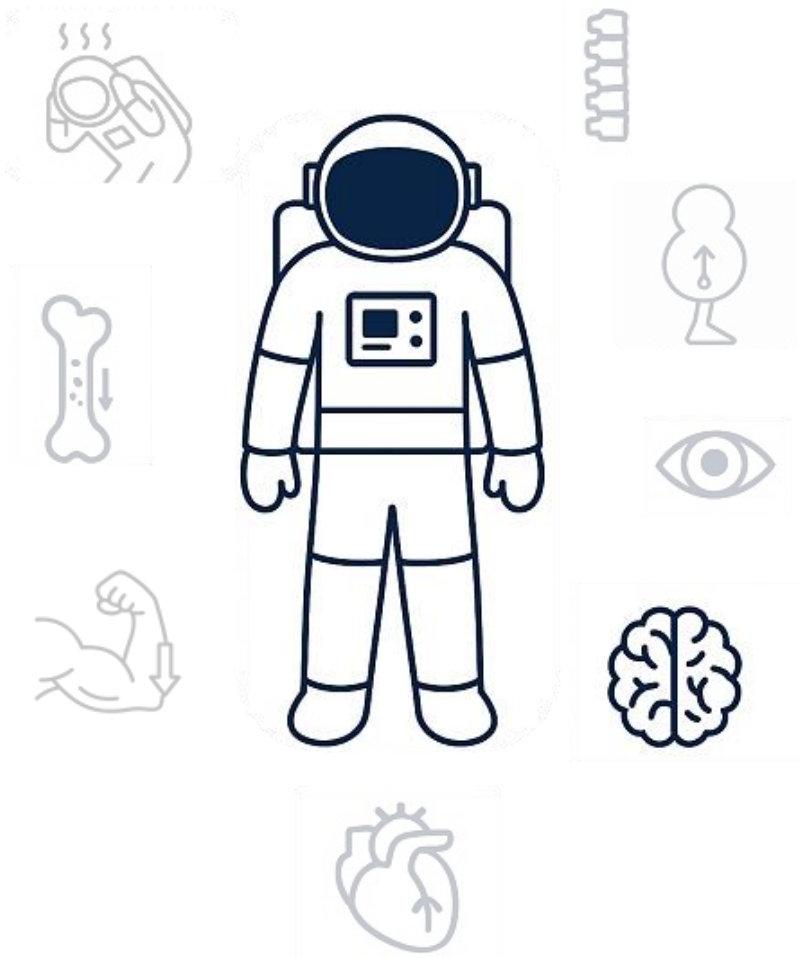
Fiziološki odziv na breztežnost



Spremembe vida – SANS

- Otekanje očesnega živca
- Sploščenje zrkla
- Izguba ostrine vida
- Verjeten vzrok: povišan intrakranialni tlak
- Prizadene:
 - ~30 % astronautov na krajših poletih
 - ~60 % astronautov na dolgotrajnih misijah

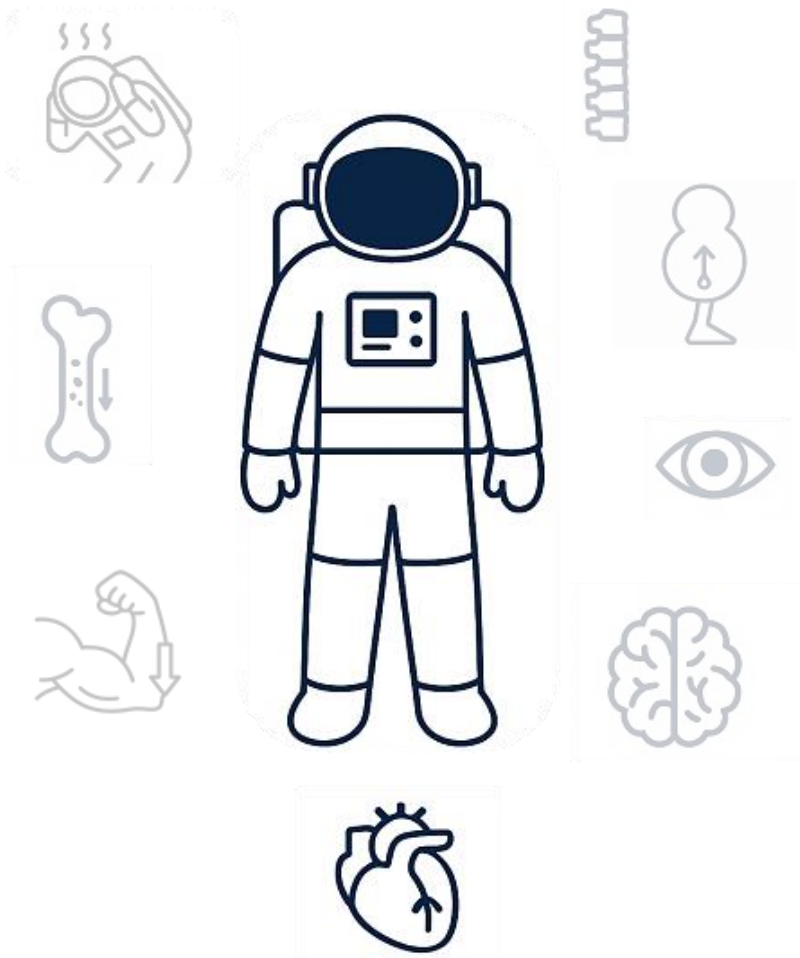
Fiziološki odziv na breztežnost



Možganske spremembe

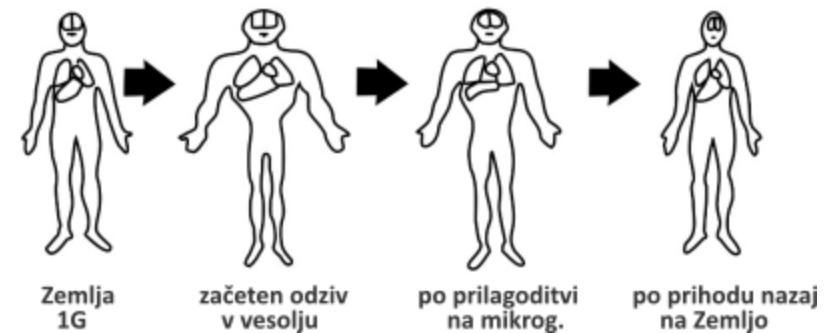
- Spremembe možganskih votlin:
 - V povprečju večji za 11%
 - Še 7 mesecev po vrnitvi večji za 6%
- Vzrok: premik cerebrospinalne tekočine navzgor
- Kognitivne spremembe
 - Upočasnen odzivni čas, sprememba pozornosti, manjša natančnost

Fiziološki odziv na breztežnost

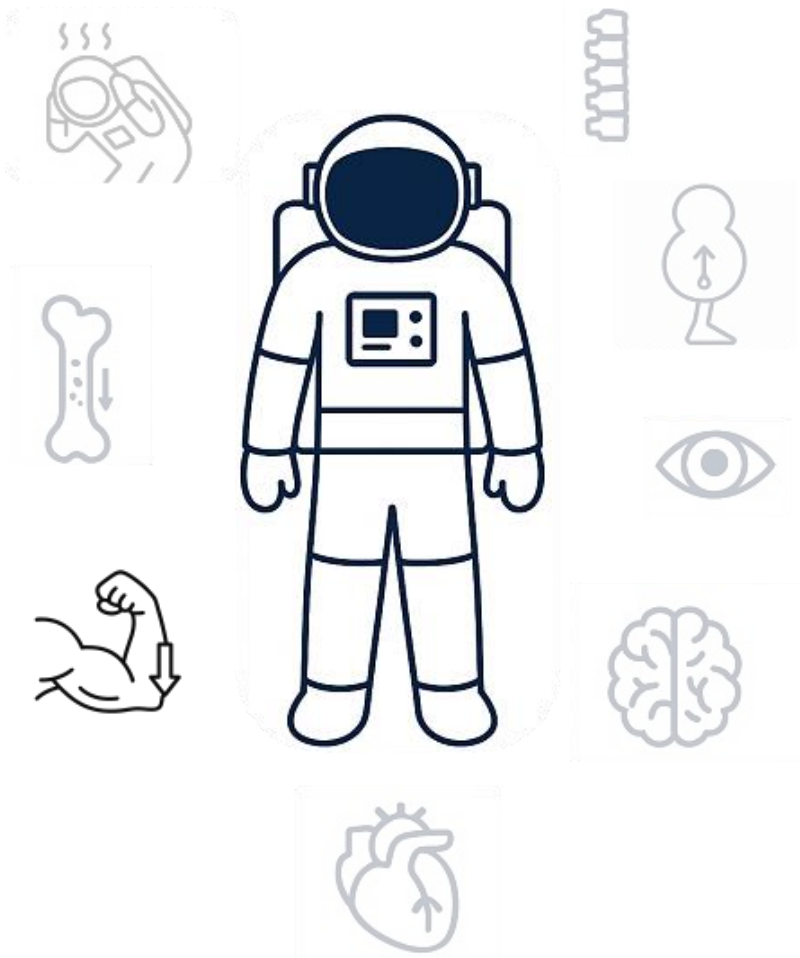


Spremembe srčno-žilnega sistema

- Prerazporeditev tekočin → prilagoditev v delovanju srca in žilja
- Zmanjšanje utripnega volumna
- Srce postane manjše in bolj sferično
- Znižan arterijski tlak
- Motnje v baroregulaciji → oslabljen refleksni odziv
- Ortostatska intolerance → prizadene 77% astronautov (misije > 14 dni)



Fiziološki odziv na breztežnost



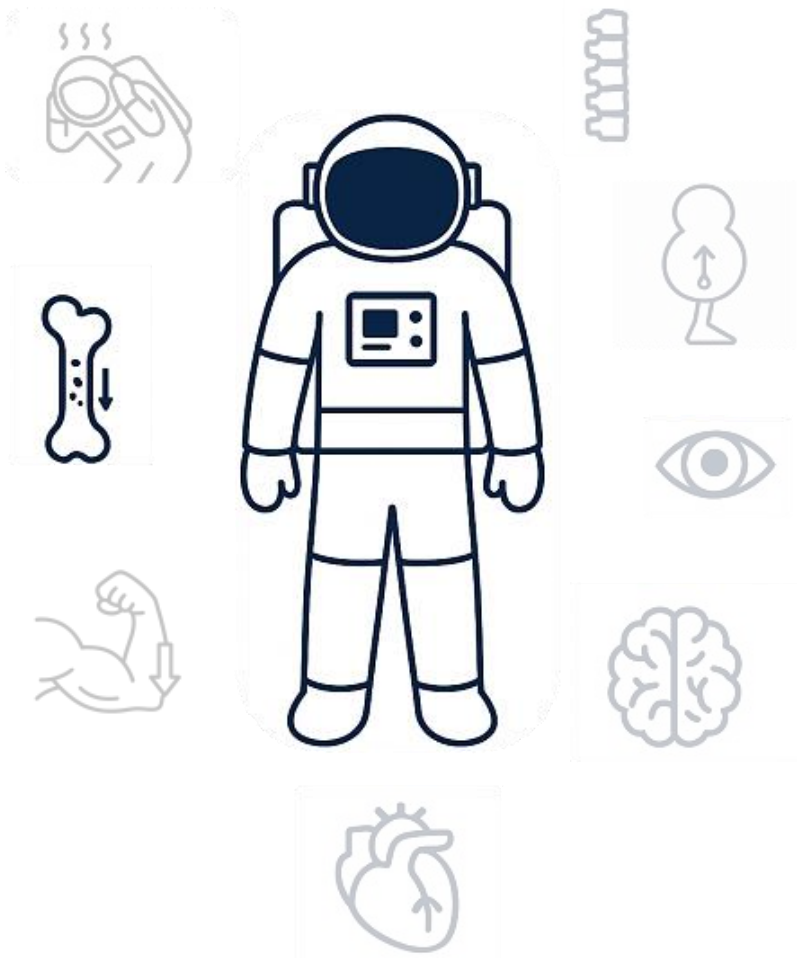
Slabljenje mišic (mišična atrofija)

- Ni mehanske obremenitve → mišice postopno propadajo
- Že v prvih 5–11 dneh brez vadbe: do 20 % izgube mišične mase
- Podobno kot pri sarkopeniji (starostna izguba mišic)
- Skylab podatki:
 - SL-2 (28 dni): 15–25 % izgube mišične moči
 - SL-3 (56 dni): ~10 % izgube mišične moči



Vir: <https://en.wikipedia.org/wiki/Skylab>

Fiziološki odziv na breztežnost



Izguba kostne mase (dekalifikacija)

- Brez mehanske obremenitve → kosti začnejo propadati
- Posledica: izguba kostne mase, predvsem v nosilnih kosteh: hrbtenica, stegnenica, medenica
- Do 1,5 % izgube kostne mase/mesec
- Brez protiukrepov: 15–20 % izgube kostne gostote pri 6-mesečni misiji

Protiukrepi

Apollo program (~1970):

- Prva vadbena naprava v vesolju: **Exer-Genie** – vrvna naprava z uporom
- Brez standardiziranega protokola vadbe

Skylab misije (1973–1974): Prve sistematične raziskave

- SL-2 (28 dni): 30 min/dan sobno kolo
- SL-3 (56 dni): 60 min/dan sobno kolo + uporovni trening
- SL-4 (84 dni): 90 min/dan vadbe – kolo, uporovni trening, Teflon tekač
- Uporaba LBNP: raziskava ortostatske tolerance (negativni tlak za prerazporeditev krvi)



Vir: https://airandspace.si.edu/collection-objects/exerciser-inflight-apollo-11/nasm_A19980021000



Vir: <https://www.skyatnightmagazine.com/space-missions/skylab>

Protiukrepi

Dnevna vadba (US/ESA protokol)

- 2,5 ure na dan: ~1,5 ure vadbe + 1 ura priprava/higiena
- 6 dni vadbe, 1 dan počitka (*RU: 3 dni vadbe, 2 dni počitka*)
- 2 vadbeni enoti na dan:
 - Uporovna vadba (ARED)
 - Vzdržljivostna vadba (tekalna steza, kolo)
 - Tekáč: 4–6×/teden
 - Kolo: 2–3×/teden

Dodatni ukrepi

- Dodatki in zdravila:
 - Vitamin D3, kalcij, bisfosfonati (zaviranje osteoklastov)
 - Zmanjšan vnos soli v prehrani

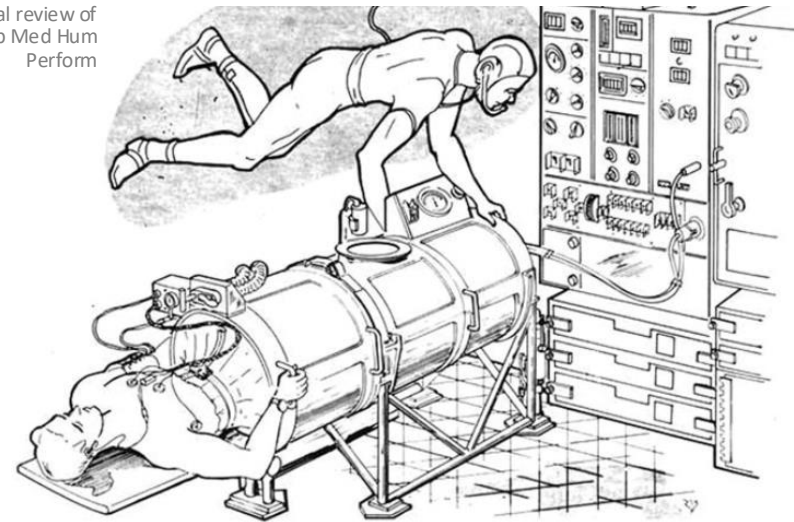


Vir: Erik Seedhouse, 2020, Life Support Systems for Humans in Space-Springer International, Springer



Protiukrepi

Vir: Campbell, Charles, 2015, Historical review of LBNP research in space medicine, Aerosp Med Hum Perform



LBNP (Lower Body Negative Pressure):

Namen:

- Aplikacija podtlaka na spodnjem delu telesa
- Simulacija gravitacijske obremenitve – kri se premakne proti nogam
- Sproži barorefleksni odziv
- Uporablja se za testiranje ortostatske tolerance in kot protiukrep

Uporaba skozi čas:

- Skylab (1973–74): redna uporaba za srčno-žilne raziskave
 - o Protokol: postopno zniževanje tlaka do -50 mmHg
- Danes:
 - o Rusija: sistem *Chibis* (Mednarodna vesoljska postaja)
 - o NASA: trenutno ni v uporabi; je predmet aktivnih raziskav



Vir: <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/10734048513/in/photostream/>

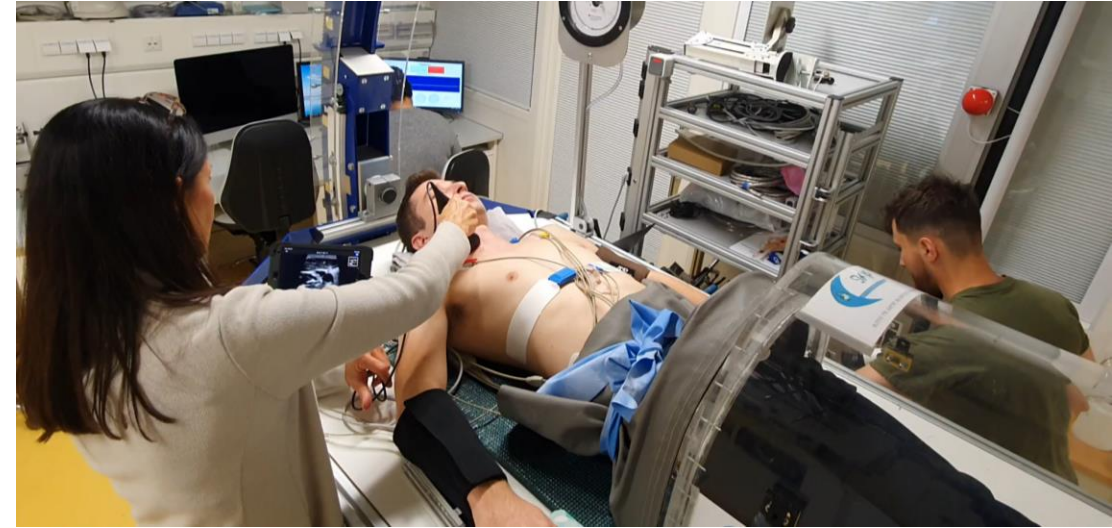
Študije vpliva mikrogravitacije na Zemlji

LBNP, Head-Up Tilt (HUT), Head-Down Tilt (HDT):

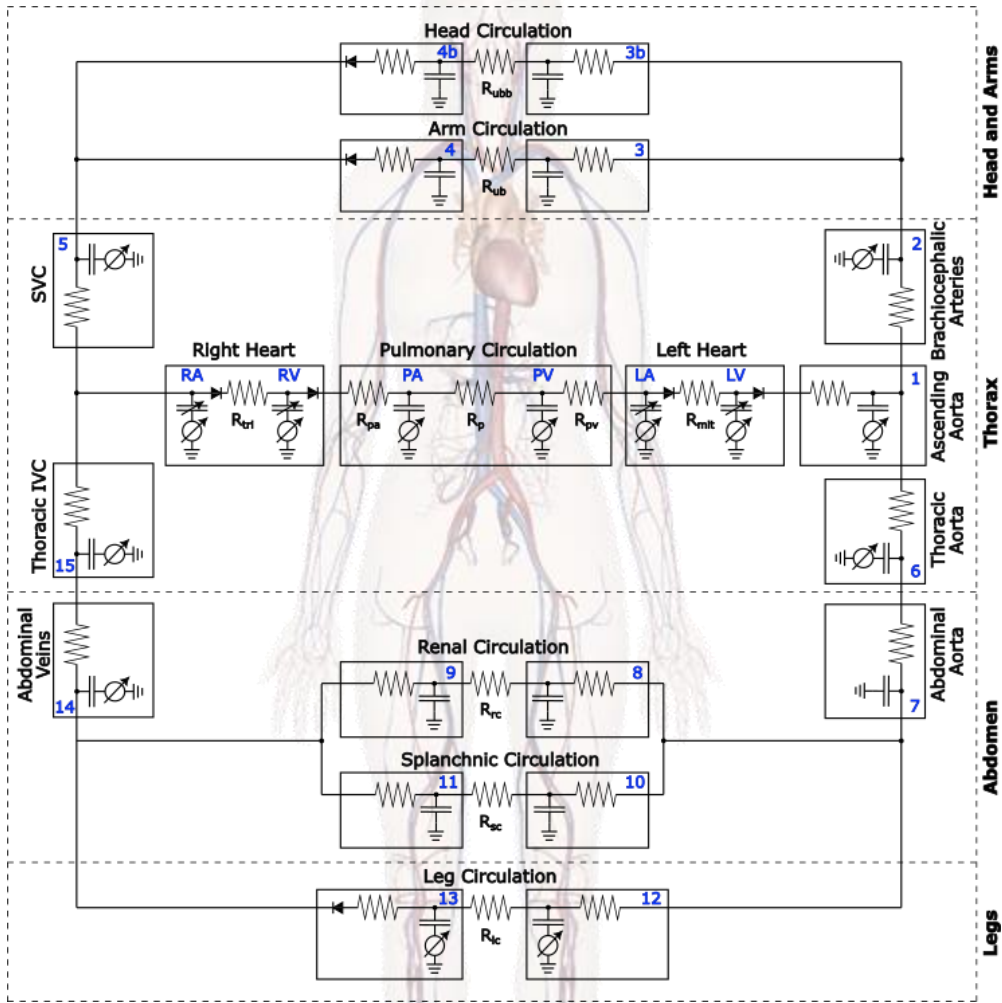
- HUT (Head-Up Tilt):
 - Nagib do 85° iz ležečega položaja, brez mišične aktivnosti
 - Kriterij učinkovitosti: čas do presinkope (padca tlaka)
- HDT (Head-Down Tilt):
 - Negativen nagib iz ležečega položaja (najpogosteje -6°)
 - Simulira premik tekočin proti glavi

Posteljni počitek ("Bed-rest"):

- Preučevanje učinkov breztežnosti (od 1950)
- V kombinaciji z -6° HDT → simulacija mikrogravitacije
- Uporablja se za raziskave:
 - mišično-skeletnega in srčno-žilnega sistema
 - učinkovitost protiukrepov: vadba, umetna gravitacija, prehrana, LBNP

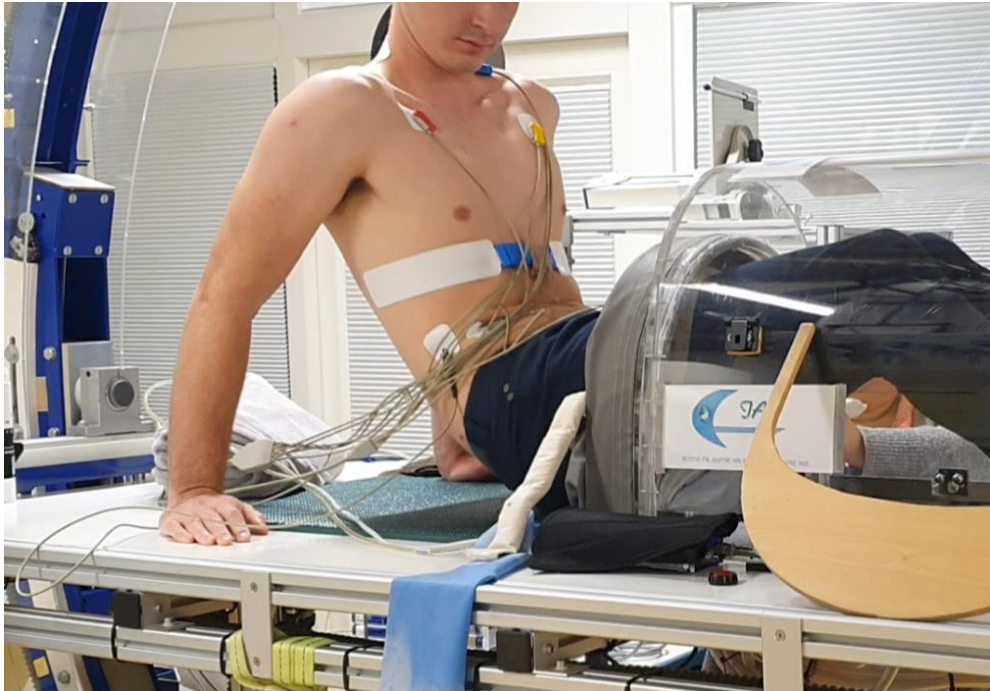


Raziskave v LNMS, UL-FS

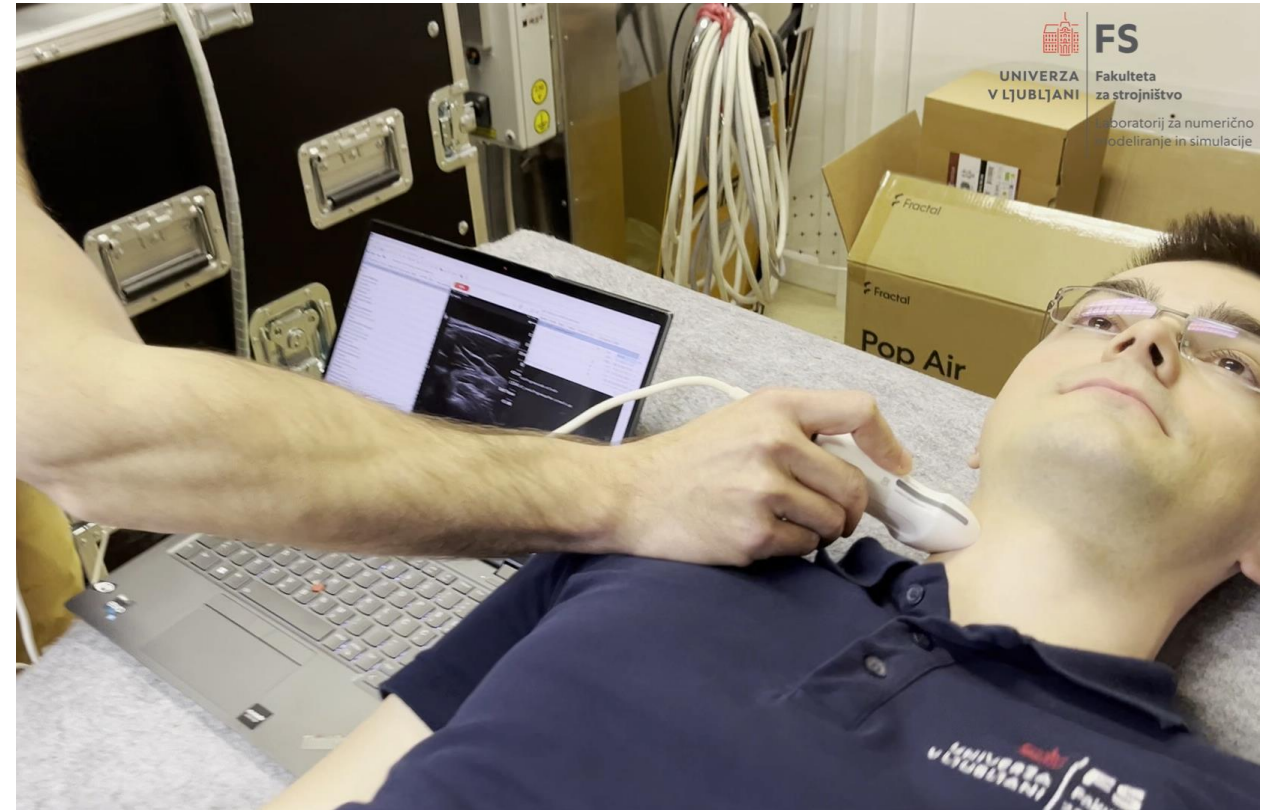
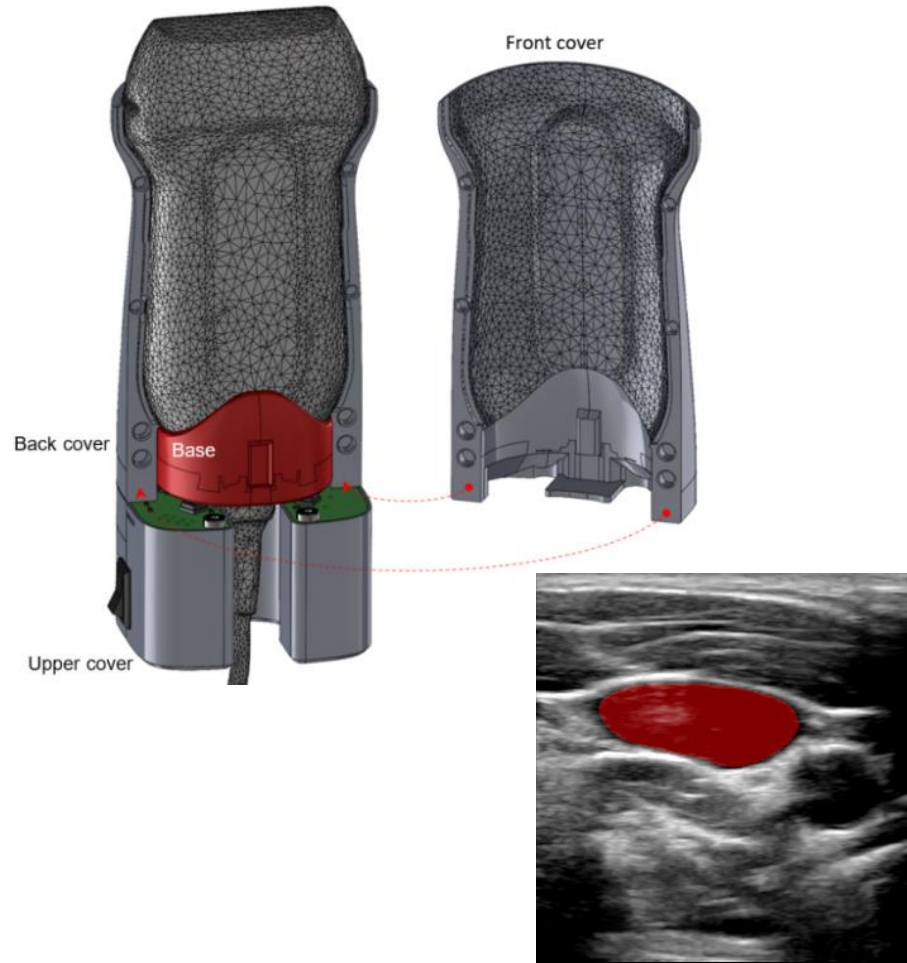


Background image: <https://www.innerbody.com/image/cardov.html>

Supine Baseline	LBNP -10 mmHg	LBNP -20 mmHg	LBNP -30 mmHg	LBNP -40 mmHg	Recovery
--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------



Raziskave v LNMS, UL-FS



Ashari et al., 2020, The Mobile Lower Body Negative Pressure Gravity Suit for Long-Duration Spaceflight, *Frontiers in Physiology*



© Neeki Ashari and Alan R. Hargens

Raziskave v *LNMS*, *UL-FS*



Vir: Veliki slovenski pok: Mednarodna vesoljska postaja (dosegljivo na: <https://www.rtvsllo.si/rtv365/arhiv/175104592?s=tv>)

Hvala za pozornost!

