

Jovan Davidović
International Academy of Astronautics, Srbija
Svetlana Čičević
Univerzitet u Beogradu
Saobraćajni fakultet, Beograd
Milkica Nešić
Univerzitet u Nišu
Medicinski fakultet, Niš

УДК 159.91:524

PSIHOFIZIOLOŠKI ASPEKTI BORAVKA U OTVORENOM SVEMIRU

Sažetak: Savremena nauka postavlja imperativ sticanja novih saznanja o efektima ekstremnih uslova življenja i rada u svemiru na performanse čoveka, što podrazumeva poznavanje posledica delovanja brojnih stresora tokom svemirskih misija. Za efikasnu fiziološku adaptaciju na svemirske uslove presudne su promene usled delovanja mikrogravitacije na psihofiziološke funkcije. Najznačajnije promene nastaju u funkcionisanju kardiovaskularnog, senzomotornog i koštano-mišićnog sistema. Narušenaje kongruencija između vizuelnih, vestibularnih i proprioceptivnih signala što indukuje senzorne konflikte (prostorna dezorijentacija) i doživljavanje vizuelnih iluzija. Nastaju fazna pomeranja ritmova telesne temperature i lučenja kortizola, što dovodi do opadanja kognitivnih performansi (produženo vreme reagovanja, povećanje broja grešaka, pogoršanje radne memorije). U psihosocijalnom smislu dolazi do promena raspoloženja (zbog monotonije, hipostimulacije, narušene facijalne ekspresije i ograničenih socijalnih kontakata), razvija se osećaj iscrpljenosti, demotivacija, gubitak apetita, depresija, i ispoljavanje negativnih crta ličnosti. Da bi se uticaj ovih stresora minimizirao neophodno je posedovati odgovarajuću bazu znanja koja bi omogućila pažljivu selekciju i obuku članova tima.

Ključne reči: svemir, mikrogravitacija, kognitivne performanse, stresori, fiziološka adaptacija

1. Uvod

Svemir, odnosno Kosmos je, zbog ekstremne varijacije sredinskih faktora u odnosu na oblike života kakve poznajemo na planeti Zemlji, veoma stresogena sredina. Tako na primer, temperatura Kosmosa varira od apsolutne nule po Kelvnoj skali (-273⁰ C) do miliona stepeni u središtu zvezda i u njihovoj bližoj i daljoj okolini. Takođe, solarna, ultravioletna i galaktička radijacija variraju u širokom rasponu. Nivo zvuka je u rasponu od apsolutne gluve kosmičke tišine do neshvatljive jačine prilikom eksplozije zvezda - supernova. Istovremeno, večni

mrkli mrak Kosmosa narušavaju bljeskovi svetlosti nepojmljivog intenziteta usled gigantskih kosmičkih kataklizmi. Sve se to zbiva u gotovo savršenom vakuumu Kosmosa, uz kolebanje – smanjenje ili odsustvo gravitacije u ekvidistantnom prostoru.

Brojni ovozemaljski razlozi nagnali su čoveka da krene i zadrži se u Kosmosu. Tu mu se, na stresnu kosmičku stvarnost nadovezao stres življenja u neprirodnim veštačkim uslovima kosmičke letelice. Ovaj, takoreći dvostruku stres, odražava se na psihofiziološki i neuroemocionalni status i performanse čoveka. Kakav je u ovom trenutku krajnji (konačni) ishod?

Najpre razmotrimo dva koncepta: stres i stresor u odnosu na kosmičke misije. Stresor je stimulus ili karakteristika okruženja koja vrši uticaj, obično negativan i ima aktivirajući smisao. U Svemiru postoje tri vrste stresora: fizički, vezani za stanište (u smislu potencijala održivosti života), psihološki i interpersonalni. Neki od ovih stresora su međusobno povezani. Na primer, mikrogravitacija i radijacija diktiraju određene karakteristike staništa. Slično, karakteristike staništa kreiraju fizičko- hemijsko okruženje koje utiče na izbor i brojnost posade.

Stres se odnosi na reakciju individue prouzrokovanu delovanjem jednog ili više stresora. U vezi sa tim, u Svemiru nastaju četiri kategorije stresa: fiziološki, uticaj na performanse (odsustvo gravitacije), interpersonalni i psihijatrijski. Prva tri teže da normalizuju napore članova posade da se adaptiraju na vanzemaljske uslove. Nasuprot ovih, psihijatrijski predstavljaju abnormalne odgovore na ove uslove.

2. Fiziološka adaptacija

2.1. Fiziološki aspekti

Već tokom prvih minuta i časova izlaganja mikrogravitaciji javljaju se neposredni odgovori kardiovaskularnog sistema. Neposredno posle toga ispoljavaju se efekti na mišićno-koštani sistem mada nešto sporije. Step en ovih promena direktno zavisi od trajanja boravka u Svemiru. Svi ovi fiziološki odgovori dovode do fiziološkog dekondicioniranja, što interferira sa zdravljem pri povratku na Zemlju, ako se ne primene odgovarajuće kontramere.

Baroreceptorski refleks je jedan od najvažnijih kontrolnih mehanizama kardiovaskularnog sistema. On podrazumeva refleksnu regulaciju srčane aktivnosti, i perifernu vaskularnu rezistenciju koja se zasniva na informacijama iz receptora arterijskog sistema (baroreceptora), pomoću koga se održava arterijski krvni pritisak na manje-više konstantnom nivou. Međutim, čim se nađemo u Svemiru, gravitaciona sila se naglo smanjuje. Kardiovaskularni mehanizmi prilagođeni uslovima kakvi vladaju na Zemlji, u prvo vreme (prvih 6–12 sati) ostaju relativno nepromenjeni i reaguju kao da je veličina gravitacione sile još uvek prisutna. To rezultira dramatičnom redistribucijom telesnih tečnosti u poređenju sa zemaljskim uslovima (koncentrisanje u gornjim delovima tela – grudnom košu i glavi).

Direktne vidljive posledice ove preraspodele su značajne promene zapremine nogu (obim nogu se smanjuje za 10–30%) (Moore and Thornton, 1987) i upadljivi otoci oko očiju ("puffy face"). Na subjektivnom nivou opažene posledice ovih promena interferiraju sa odgovarajućim subjektivnim osećajem individue. Na primer, astronauti se često žale na zapušen nos i glavobolju tokom prvih časova ili dana u bestežinskom stanju. Pored toga, oseti ukusa i mirisa mogu biti izmenjeni zbog nagomilavanja tečnosti u nazalnom regionu (Clément, 2005). Ove promene utiču čak i na interpersonalnu komunikaciju među astronautima [Kelly i Kanas, 1992]. To dovodi do teškoća u pravilnom opažanju i interpretiranju facijalne ekspresije koja je nosilac bitnih neverbalnih informacija (Cohen, 2000). Na fiziološkom nivou, dolazi do prolaznog povećanja centralnog volumena krvi i intrakranijalnog pritiska, što ima za posledicu iniciranje složenih adaptivnih efekata u kardiovaskularnom i endokrinom sistemu (Charles et al., 1994).

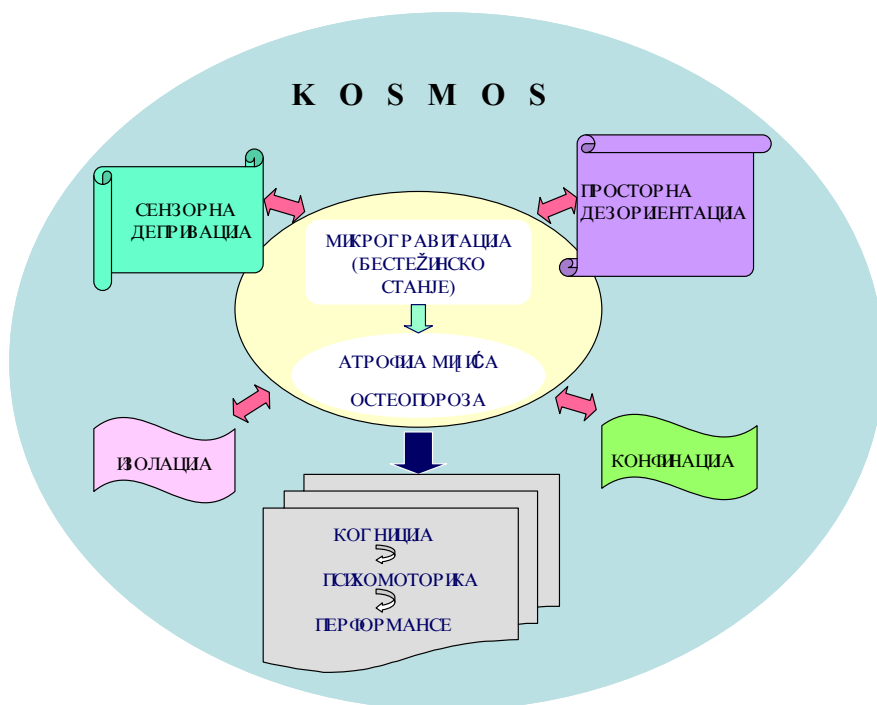
Ako se ne preduzmu odgovarajuće protivmere, ovo dekondicioniranje kardiovaskularnog sistema dovodi do gubitka ortostatske tolerancije. To može da stvori ozbiljne probleme kada se astronauti vrate na Zemlju. Na primer, smanjenje volumena cirkulacije krvi u kosmičkim uslovima rezultuje snižavanjem krvnog pritiska i refleksnim povećanjem frekvencije srčanog rada kod astronauta u uspravnom položaju nakon prizemljenja. To je posledica povratka veće količine krvi u donje ekstremitete, usled delovanja normalne vrednosti gravitacione sile. Kako je celokupni volumen krvi još uvek manji, dolazi do hipotenzije (u nivou glave). Zavisno od dužine boravka u Kosmosu, dešava se da kosmonaut ne može da napusti letelicu nakon prizemljenja u uspravnom položaju. Dakle, potrebno je ponovno uspostavljanje primarnog prvobitnog nivoa baroreceptorskog refleksa.

2.2. Prostorna (dez)orijentacija i senzorna deprivacija

Orijentacija (snalaženje) u slobodnom prostoru je izuzetno složen neurofiziološki proces. To inače dobro znaju svi oni koji se inače po prirodi loše orijentišu pogotovo u nepoznatom kraju (a naročito još po mraku). Uopšte, za dobru orijentaciju neophodni su odgovarajući orijentiri (bolje je ako ih ima više) i intaktan (zdrav) neurovestibularni aparat. Nedostaci i/ili poremećaji u jednom (neadekvatni orijentiri) ili drugom (unutrašnje uho) otežavaju ili onemogućuju orijentaciju i održavanje vertikalnog položaja u prostoru, a to se upravo dešava u orbiti u Svemiru.

Tokom evolucije, čovekov sistem za ravnotežu je optimizovan da ispunjava dve važne funkcije: uspravni položaj i kretanje po zemljinoj površini, kao i koordinaciju pokreta glave i očiju. Ovo se postiže uz pomoć dva subkortikalna mehanizma – vestibulo-spinalni i vestibulo-okularni refleksi (Howard, 1986), koji podrazumevaju kompenzovanje pokreta glave da bi se omogućile fiksacije očiju na vizuelne mete. U uslovima mikrogravitacije aferentne informacije iz otolitnih organa značajno su izmenjene eliminacijom ovih signala. Drugim rečima, otolitni organi više ne obezbeđuju informacije o položaju glave u vertikalnom pravcu ili tela već su osetljivi samo na linearno ubrzanje tela. Ovakve promene imaju značajne posledice i zahtevaju složene procese adaptacije i tako utiču na performan-

seastronauta tokom adaptacije na kosmičke uslove (Slika 1). Razumljivo, odsustvo gravitacije utiče na



Slika 1. Različiti uticaji boravka u kosmosu i bestežinskog stanja na somatske i psihičke funkcije

Promenu mehaničkih uslova u kojima se odvija kontrola položaja i pokreta tela. Astronauti moraju da nauče kako da se kreću u trodimenzionalnom prostoru u kome je sila trenja zanemarljiva, ne koristeći noge. Normalno, ovaj proces učenja se odvija relativno brzo i veština spretnog kretanja u uslovima mikrogravitacije se postiže tokom prve četiri nedelje boravka u svemirskim uslovima. Još mnogo značajnija posledica promena vestibularnih signala u kosmičkim uslovima jeste narušavanje vizuelno-okularnih refleksa, što se očituje poremećajima pokreta očiju i fiksacija, kao i odsustvom kongruenije između vizuelnih, vestibularnih i proprioceptivnih signala (André-Deshays et al., 1993; Clarke et al., 2000; Clément, 1998). Ovo proizvodi senzorne konflikte koji dovode do poremećaja u prostornoj orijentaciji i pojave različitih vizuelnih iluzija. Najozbiljnija posledica ovog konflikta je razvoj kosmičke bolesti kretanja (Space Motion Sickness, tj., SMS) koja u velikoj meri pogoršava fizičko stanje i kondiciju astronauta tokom prvih dana boravka u Kosmosu (Lackner i DiZio, 2006; Reschke et al., 1994, 1998). Simptomi SMS-a liče na simptome bolesti kretanja na Zemlji (kinetoze), osim što se pojačava osećaj slabosti, gubitak apetita, stomachni simptomi, javlja se kratko i iznenadno povraćanje, mučnina i pospanost. Jedini izuzetak je odsustvo bledila usled povećanog

volumena krvi u regionu glave (Lackner i DiZio, 2006). Većina simptoma SMS-a javlja se u prvim časovima izlaganja mikrogravitaciji i traju do oko četiri dana, a naročito su izraženi kod manje utreniranih pojedinaca (javlja se čak u 85% slučajeva) a nešto manje kod bolje utreniranih (44%–67%) (Davis et al., 1988; Matsnev, et al., 1983). Najbolja prevencija pojave SMS-a jeste dobra obuka koja prethodi misiji (učiniti astronautima familijarnim senzorne konflikte i vestibularnu stimulaciju sa kojom će se susresti u kapsuli) (Reschke et al., 1994) i nešto manje efikasan, farmakološki tretman preventivno ili nakon pojave prvih simptoma, zbog svog štetnog delovanja na degradaciju kognitivnih i psihomotornih funkcija. Alternativa su biheviornalne tehnike kao biofeedback ili autogeni trening, koji bi astronautima pomogli da efikasno kontrolišu autonomne odgovore na senzorne konflikte u svemirskim uslovima (Cowings i Tosacano, 1982).

Astronauti imaju mnogo više teškoća da u svemirskim uslovima održe preciznu prostornu mapu okoline, pogotovo bez učešća vida (Watt, 1997; Young et al., 1993). Čak i kada su oči otvorene, javljaju se trivrsne prostornih iluzija (Kornilova, 1997). Prva podrazumeva percepciju pokreta u okolini povezanu sa pokretima glave, na primer, pomeranje glave kada se gleda kontrolna tabla može dovesti do pogrešnog opažanja položaja instrumentalnih pokazivača. Druga vrsta iluzije se odnosi na pogrešnu percepciju sopstvenog kretanja u poređenju sa njegovim izvođenjem na Zemlji, kada vizuelni utisci prednjače nad vestibularnim signalima, a ispoljava se kao doživljaj tumbanja, padanja ili obrtanja. Treća vrsta iluzija naziva se iluzija inverzije i podrazumeva poremećaje orijentacije i jedna je od najčešće navođenih vrsta iluzija u bestežinskom stanju (Kornilova et al., 1995; Kornilova, 1997; Lackner and DiZio, 1993). Posebno su interesantni primeri osećaja kao da visimo naglavačke što je povezano sa razvojem SMS-a, i kada su oči otvorene i kada su zatvorene. Najčešće se ovi problemi sa orijentacijom prevazilaze nakon nekoliko minuta ili časova, ali mogu i perzistirati čak i do 14–30 dana pre nego što se razviju odgovarajući mehanizmi fiziološke adaptacije. Međutim, mnoge prostorne iluzije se ponovo javljaju nakon nekog vremena (30–50 dana) pokazujući da je došlo do izvesne destabilizacije adaptivnih procesa. Nakon tridesetodnevno boravka u Svemiru, većina astronauta postaje relativno nezavisna od egocentričnog referentnog sistema i u stanju je da tačno proceni sopstvenu orijentaciju u odnosu na letelicu, čak i kada se pasivno okreću sa zatvorenim očima. Proces mentalne rotacije neophodan da bi se poredila dva objekta prikazana u različitim smerovima potpuno je isti kao na Zemlji (Leone et al., 1995). U istraživanjima gde su praćene performanse zaključuje se da su prve 2 do 4 nedelje misije i prve dve nedelje nakon povratka na površinu Zemlje kritičan period kada mogu nastati pogoršanja fine motorne kontrole pokreta i aktivnosti pažnje. Kada dođe do uspešne adaptacije na kosmičke uslove, tokom misije, performanse se mogu održati na relativno visokom nivou do kraja misije. Nađeno je da su sistemi za obradu prostornih informacija dovoljno fleksibilni da koriste druge senzorne podatke kako bi kompenzovali nedostatak gravitacije da bi održali odgovarajući nivo performansi (Friederici i Levelt, 1990; Mitani et al., 2004). Friederici i Levelt (1990) izveštavaju

da ispitanici mogu brzo da kompenzuju odsustvo gravitacije koristeći retinalne znake i pokrete glave pri određivanju orijentacije. Koriste se još i dodir, pritisak, kao i arhitektura okoline (Lackner & DiZio, 1993; Benke et al., 1993).

3. Performanse čoveka u svemiru

Uprkos velikom operacionalnom značaju, izučavanje čovekovih performansi tokom kosmičkih letova bilo je najvećim delom ograničeno na specifične efekte mikrogravitacije na perceptivne i vizuelne funkcije, kao i na psihomotorne procese uključene u kontrolu somatskih funkcija. Očuvanje efikasnih performansi astronauta tokom boravka u Svemiru predstavlja značajan izazov naročito u dugotrajnim misijama. Tokom prvih dana kosmičkog leta, glavni cilj je bio prosto preživljavanje ljudi u tako egzotičnom okruženju. Zato su se prva istraživanja fokusirala na izučavanje efekata mikrogravitacije na telesne funkcije. Međutim, danas bi se već moglo reći da Svemir postaje važno radno mesto za određeni broj ljudi, astronauta koji izvršavaju složene naučne i operativne zadatke koji postavljaju visoke zahteve njihovim kognitivnim funkcijama i psihomotornim veštinama (Morphew et al., 2001). Otuda se sve veća pažnja posvećuje faktorima koji deluju na ljudske performanse u Svemiru. To će postati još značajnije u budućnosti, jer će dužnosti astronauta i njihova radna oprema postajati mnogo kompleksniji.

Nadalje, degradacija performansi čoveka u svemiru ima značajne bezbednosne implikacije, pogotovo tokom produženog boravka u Svemiru. To su pokazala istraživanja nezgode koja se desila u svemirskoj stanici Mir. Pogoršanje performansi i veština usled delovanja umora bili su uzrok ove katastrofe (Ellis, 2000). Neophodno je zato bolje proučiti rizike koji prizilaze iz opadanja performansi, odnosno formirati bazu znanja o delovanju ekstremnih životnih i radnih uslova u Svemiru na čovekove funkcije i sposobnosti. To pored znanja o delovanju mikrogravitacije na kognitivne i psihomotorne procese, podrazumeva i poznavanje uticaja drugih stresora prisutnih tokom dugotrajnih kosmičkih misija, kao što su radno opterećenje, monotonija, izolacija i konfinacija, itd., na performanse.

Psihološke i psihijatrijske karakteristike uglavnom ne predstavljaju problem tokom kratkotrajnih misija, koje obično traju nedelju ili dve, jer odabrani ljudi mogu da tolerišu stresore koji deluju u Svemiru u tim vremenskim okvirima. Problemi nastaju tokom dugotrajnih misija, koje traju duže od 6 nedelja, ne samo zbog napora koji se odnose na ljudske sposobnosti, već i zbog delovanja dodatnih stresora, npr., monotonija, kad je situacija izgubila čar novine, ličnih konflikata zbog preuveličavanja nebitnih iritacija, i slično. Iskustvo i istraživanja su pokazali da ponašanje grupa ljudi koji žive i rade u skućenim i izolovanim prostorima prolaze kroz stadijume koji su vremenski zavisni. Psihosocijalne promene nastaju obično u drugoj polovini misije, naročito u trećoj četvrtini (Bechtel and Berning, 1991; Gushin et al., 1993, 1997).

3.1. Spavanje i cirkadijalni ritam

Poseban uticaj na nivo performansi čoveka u Svemiru ima desinhronizacija cirkadijalnog ritma psihofizioloških funkcija. U prve dve dekade kosmičkih letova ova pojava je zaokupljala relativno malo pažnje istraživača. Ali, situacija se promenila. Dokaze o korelaciji između pojave grešaka i odstupanja od normalnog ciklusa budnosti i sna (duge smene ili nedovoljno vremena za odmor između njih) pružila je ruska studija tokom misije Mir 14 u trajanju od 342 nedelje sa 28 kosmonauta (Nechaev, 2001). Novije studije su takođe pokazale značaj optimizacije ciklusa rada i odmora kao i praćenja umora članova posade, za zdravlje i održavanje optimalnih performansi u kosmičkim letovima (Flynn, 2005; Mallis i DeRoshia, 2005). Izveštaji iz američkih i ruskih misija, na osnovu objektivnih merenja i subjektivnih izveštaja astronauta (Frost et al., 1976; Santy et al., 1988; Stoilova et al., 1990, 2003; Gundel et al., 1993, 1997, 2001; Monk et al., 1998, 2001; Dijk et al., 2001), pokazali su da je san u kosmičkim uslovima kraći, plići i češće ometan nego u zemaljskim. Usled toga je česta upotreba hipnotika radi održavanja sna (Putcha et al., 1999). Pri dužem boravku u Svemiru ovi efekti se primarno javljaju tokom prve 2–4 nedelje (Frost et al., 1976; Gundel et al., 2001). Prema Gundel et al. (1997) prva REM faza se javlja ranije a udeo sporih talasa se povećava u drugoj nonREM fazi u poređenju sa modelom spavanja na Zemlji. U prvim nedeljama nakon povratka na Zemlju značajno se povećava udeo REM spavanja, a redukuje njegova latencija.

Poremećaji kvaliteta i kvantiteta sna u Svemiru dodatno potenciraju još neki specifični ambijentalni uslovi kao što su temperatura, konstantno visoki nivoi buke sistema za pročišćavanje vazduha, SMS, povišeni nivo aktivacije i emocionalnog tonusa i generalno, neudobnosti (vreće za spavanje) i nedostatka poznatih proprioceptivnih znakova (Mallis i DeRoshia, 2005; Monk et al., 1998; Santy et al., 1988; Stuster, 1996). Na sve ovo nadovezuje se određeni stepen radnog opterećenja i odstupanja od uobičajenog rasporeda rada i odmora (kasniji odlazak na počinak zbog mnoštva zaduženja koje treba obaviti, ili socijalnih aktivnosti, dok je vreme buđenja zadato i ne menja se tokom misije iz istih razloga). To konačno doprinosi skraćivanju vremena spavanja. Desinhronizacija cirkadijalnog ritma usled relativno niskog nivoa ambijentalnog osvetljenja kao i poremećaji termoregulacije mogu dovesti i do faznog kašnjenja ritmova telesne temperature i kortizola. Međutim, u dugotrajnim misijama uspostavlja se normalno trajanje sna (Frost et al., 1976; Gundel et al., 2001). Rezultati novijih studija (Belenky et al., 2003; Dinges et al., 1997; van Dongen et al., 2003) ukazuju da umereno skraćivanje spavanja, na manje od 6 sati po noći, dovodi do pogoršanja kognitivnih funkcija (produženo vreme reakcije, greške na zadacima prostog vremena reagovanja, sporije rešavanje aritmetičkih zadataka, pogoršanje radne memorije) nakon dve uzastopne noći. Ako lišavanje spavanja duže traje, opadanje performansi se akumulira do stepena kada će biti nemoguće nadoknaditi gubitak sna.

Ovi efekti srazmerni su trajanju lišavanja sna. Ako se trajanje spavanja ograniči na 4–6 sati, nakon 14 uzastopnih noći kumulativno opadanje performansi jednako

je kao u sličaju kompletnog lišavanja sna tokom dve noći (van Dongen et al., 2003). Čak ni tri noći normalnog sna nisu dovoljne za oporavak performansi do normalnog nivoa, nakon sedam uzastopnih noći umerenog lišavanja sna (manje od 7 sati) (Belenky et al., 2003). Sa druge strane subjektivne procene pospanosti korespondiraju sa jednom noći umanjenog trajanja sna, ali nemaju tu tendenciju u daljem toku vremena. Ukoliko je neophodna restrikcija sna tokom noći (to ne bi trebale da budu dve uzastopne) dobru kompenzaciju predstavlja obezbeđivanje uslova za kratke epizode spavanja (dremanje) dan pre ili nakon noći kada je spavanje redukovano. Ovo dokazuju empirijski podaci iz studije Mollicone et al., (2007). Najvažniji faktor koji omogućuje okrepljujuću funkciju sna jeste ukupna količina sna tokom dvadesetčetvoročasovnog perioda, bez obzira da li se on ostvaruje jednokratnim neprekinutim spavanjem tokom noći ili kombinacijom noćnog sna i dremanja u toku dana. Svakako, problem mogu predstavljati početak i trajanje smena, odnosno pomeranje vremena početka smene što je diktirano operativnim zaduženjima (i skraćanjem trajanja dana, kod orbitalnih letova), kao i vreme predviđeno za opasne zadatke (van letelice). Rezultati (Monk et al., 2004, 2006) sugerišu da pomeranje početka smene za po 30 minuta unapred, tokom 12 dana, manje opterećuje cirkadijalni sistem nego devet dvočasovnih kašnjenja početka smene.

3.2. Faze adaptacije u toku trajanja misije

Izvesno vreme nakon dolaska u Kosmos astronaut ne doživljava negativne efekte ograničenog prostora i izolacije, nedostatka komfora ili monotonije usled socijalne komunikacije sa malim brojem članova posade.

Najkritičniji period je onaj (između šeste i dvanaeste nedelje) kada posada upada u rutinu i može trajati do pred kraj misije. Tada nastaju značajne psihološke promene, najviše u raspoloženju, kao odgovor na monotoniju i dosadu usled malog radnog opterećenja, hipostimulacije i ograničenih socijalnih kontakata zbog odvojenosti od porodice i prijatelja. Tada bihevioralne reakcije podrazumevaju emocionalnu labilnost i hipersenzitivnost, povećanu iritabilnost i opadanje živosti i motivacije. Pored ovih javljaju se i neke suptilnije promene kao što je povećana osetljivost na neke perceptivne stimuluse (npr., na glasne zvuke) (Grigoriev et al., 1988, Kelly i Kanas;1992). Nastaju i psihijatrijski problemi, kao što je astenični sindrom (osećanje iscrpljenosti, hipoaktivnost, niska motivacija, gubitak apetita i poremećaji sna). Mogu eventualno biti praćeni stanjima euforije, depresije i naglašavanjem negativnih crta ličnosti (Myasnikov i Zalmaletdinov, 1998). Konačno, četvrta faza se dostiže neposredno pred kraj misije. Obično tada dominiraju osećaji euforičnosti ali i brige oko toga kako će izgledati povratak na Zemlju nakon dugog odsustvovanja (Lebedev, 1988).

3.3. Kognitivne funkcije u Svemiru

Tek poslednjih godina raste naučni interes za proučavanje različitih aspekata (vremenskih) mentalne efikasnosti tokom kosmičkih misija. Međutim, performanse na zadatku praćenja koji nije zahtevao manuelnu kontrolu pokreta pokazale su

značajno opadanje tokom poslednja četiri dana misije. Ali efikasnost istovremenog obavljanja zadataka praćenja i memorijske pretrage opada tokom celog boravka u svemirskim uslovima, ukazujući na efekte na selektivnost pažnje pod uticajem stresora vezanih za kosmički let. Schiflett et al. (1995) i Schlegel et al. (1995) nalaze takođe nedvosmisleno pogoršanje performansi na zadacima praćenja i pri istovremenom obavljanju dva zadatka. Za razliku od rezultata prethodnih studija, oni takođe saopštavaju o izvesnim pogoršanjima brzine memorijske pretrage kod dva astronauta i razmatraju da li su oni posledica mikrogravitacije ili opadanja budnosti i umora. Manzey et al. (1998) su pronašli znatno opadanje performansi na zadatku praćenja tokom prve tri nedelje kosmičkog leta, kao i u prve dve nedelje posle povratka na Zemlju. Autori smatraju da je ovo posledica činjenice što su ovo periodi kada astronauti moraju da se prilagode na ogromne promene sredinskih uslova. Rezultati ovih studija sugerišu da, iako bazični kognitivni procesi ostaju relativno stabilni u svemirskim uslovima, vizuelno-motorni procesi i funkcije pažnje mogu biti podložni promenama tokom kratkotrajnih kosmičkih misija.

Opadanje performansi je direktna ili indirektna posledica delovanja mikrogravitacije ili preopterećenja, baš na ovom stupnju adaptacije. Za vreme drugog stupnja adaptacije, preovlađuju emocionalni efekti usled osećanja monotonije i psihosocijalnih uslova tokom leta (Grigoriev et al. 1985).

Novija studija kosmičke misije duge 438 dana jednog ruskog kosmonauta, koja je postavila novi svetski rekord o boravku u svemiru, pružila je jedinstvenu priliku da se prati efikasnost kognitivnih, vizuelno-motornih i viših procesa koji učestvuju u pažnji u uslovima dugotrajnog boravka u Kosmosu. Otkriveno je da dolazi do inicijalnog opadanja performansi u memorijskim i zadacima gramatičkog rezonovanja pre samog poletanja, ali da dolazi do povratka na normalni nivo funkcionisanja nakon ulaska u Svemir. Ovakvi rezultati se pripisuju uticaju velikog stresa i anticipacije koji prethode misijama izuzetno dugog trajanja (Manzey, Lorenz, i Poljakov, 1998). U studiji koju su sprovedi Ceausu i sar. (1982) ustanovljen je izvestan deficit performansi. U zadacima prostih aritmetičkih operacija dolazi do povećanja brzine na račun tačnosti u prva tri dana osmodnevne misije, ali se nakon toga dalje povećavaju brzina i tačnost do petog dana. Inicijalno opadanje pripisuje se delovanju umora. Studija Manzey et al. (1998) sugeriše dva interesantna fenomena. Najpre, opadanje performansi na zadacima praćenja korelira sa subjektivnim procenama raspoloženja, što ukazuje da su ključni faktori umor i stres uzled izolacije. Drugo, vremenski faktor ukazuje na efekte složenih psihofizioloških prilagođavanja, što je potvrđeno u literaturi koja se bavi neurološkim promenama u kosmičkim uslovima (Correia, 1998; Newberg, 1994).

Delovanje mikrogravitacije na motorne sposobnosti daje smislenije objašnjenje opadanja performansi na zadacima praćenja. Heuer i sar. (2003) otkrili su da su opadanja performansi praćenja povezana sa opadanjem krutosti mišića. Takođe, postoje izveštaji da kod astronauta nakon buđenja dolazi do promena u proprioceptiji (Lackner & DiZio, 1993). Bock i saradnici (1992) našli su da su ispitanici premašivali metu pri pokretanju ruku. Ovo se objašnjava nastojanjem da se primene isti sistemi motorne kontrole kao u zemaljskim uslovima, što je onemo-

gućeno smanjenjem težine ruke u kosmićkim uslovima i dovodi do nepreciznih pokreta. Bock (1994) nalazi da pokreti lakta dosledno premašuju poziciju mete kada je samo ruka izložena uslovima bestežinskog stanja. Ovi nalazi su izuzetno zanimljivi, jer ukazuju da je opadanje motornih sposobnosti nezavisno od uticaja mikrogravitacije na centralni nervni sistem.

Zaključak

Iako bazične kognitivne funkcije u Svemiru pokazuju samo mala pogoršanja, javljaju seznačajni deficiti u perceptivno-motornom funkcionisanju i podeljenoj pažnji. Ovi poslednji su izgleda uslovljeni umorom i stresom usled izolacije u kosmićkim uslovima, što dovodi do smanjenja broja informacija na koje se pažnja istovremeno može usmeriti. Perceptivno-motorni deficiti su povezani sa uticajem mikrogravitacije na motonu kontrolu, iako se ne mogu prevideti ni efekti mikrogravitacije na vestibularni sistem, kao ni delovanje povećanog obima rada i posledice izolacije. Prostorna obrada se drastično menja iako fleksibilne kompenzatorne aktivnosti pomažu da se donekle ublaže efekti na performanse. Međutim, nalazi o delovanju na performanse su problematični, jer su dobijeni na malim uzorcima, ne mogu se ponoviti, naročito ih je teško pratiti longitudinalno. Takođe se javljaju problemi validnosti, jer su u kosmićkom okruženju prisutni mnogobrojni stresori koji kontaminiraju rezultate.

Literatura

- André-Deshays, C. et al. 1993. Gaze control in microgravity: 1. Saccades, pursuit, eye-head coordination. *Journal of Vestibular Research* 3, 331–343.
- Bechtel, R.B. and Berning, A. 1991. The third-quarter phenomenon: do people experience discomfort after stress has passed? In: A.A. Harrison, Y.A. Clearwater, and C.P. McKay (eds.) *From Antarctica to Outer Space*. New York: Springer-Verlag, 261–266.
- Belenky, G. et al. 2003. Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *Journal of Sleep Research* 12, 1–12.
- Benke, T. et al. 1993. Space and cognition: The measurement of behavioral functions during a 6-day space mission. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 64, 376–379.
- Bock, O. et al. 1992. Accuracy of aimed arm movements in changed gravity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 63, 994–998.
- Bock, Otmar. 1994. Joint position sense in simulated changed-gravity environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 65, 621–626.
- Ceasu, V., Miasnikov, V.I., & Kozerenko, O.P. 1982. The psychic activity under the conditions of space flight. *Revue Roumaine des Sciences Sociales - Série de Psychologie* 26, 101–118.

- Charles, J.B., Bungo, M.W. & Fortner, G.W. 1994. Cardiopulmonary function. In: A.E. Nicogossian, C. Leach Huntoon and S.L. Pool(eds.) *Space Physiology and Medicine*. 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 59:1185–1189.
- Clarke, A.H. et al. 2000. The three-dimensional vestibulo-ocular reflex during prolonged microgravity. *Experimental Brain Research* 134, 322–334.
- Clément, Gilles. 1998. Alterations of eye movements and motion perception in microgravity. *Brain Research Reviews* 28, 161–172.
- Clément, Gilles. 2005. *Fundamentals of Space Medicine*. Dordrecht: Springer.
- Cohen, Malcolm. 2000. Perception of facial features and face-to-face communications in space. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 71, A51–57.
- Correia, Manning. 1998. Neuronal plasticity: Adaptation and readaptation to the environment of space. *Brain Research Reviews* 28, 61–65.
- Cowings. I.S. & Toscano, W.B. 1982. The relationship of motion sickness susceptibility to learned autonomic control for symptom suppression. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 53, 570–575.
- Davis, J.R. et al. 1988. Space motion sickness during 24 flights of the space shuttle. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 59, 1185–1189.
- Dijk, D.-J. et al. 2001. Sleep, performance, circadian rhythms, and light dark cycles during two space shuttle flights. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative, Comparative Physiology* 281, R1647–1664.
- Dinges, D.F. et al. 1997. Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4–5 hours per night. *Sleep* 20, 267–277.
- Ellis, Stephen. 2000. Collision in space: Human factors elements of the Mir Progress 234 collision. *Ergonomics in Design* 8, 4–9.
- Flynn, Christopher. 2005. An operational approach to long-duration mission behavioral health and performance factors. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 76 (Suppl.):B42–B51.
- Friederici, A.D. & Levelt, W.J.M. 1990. Spatial reference in weightlessness: perceptual factors and mental representations. *Perception and Psychophysics*, 47, 253–266.
- Frost, J.D. et al. 1976. Sleep monitoring: the second manned Skylab mission. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 47, 372–382.
- Grigoriev, A.I., Kozerenko, O.P. & Myasnikov, V.I. 1985. Selected problems of psychological support of prolonged space flights, Paper presented to the 36th IAF Congress, 7–11 October, Stockholm, Sweden.
- Grigoriev, A.I. et al. 1988. Ethical problems of interaction between ground-based personnel and orbital station crewmembers. *Acta Astronautica* 17, 213–215.
- Gundel, A. et al. 1993. Sleep and circadian rhythm during a short-term space missions. *Clinical Investigator* 71, 718–724.
- Gundel, A., Polyakov, V.V., & Zulley, J. 1997. The alteration of human sleep and circadian rhythms during spaceflight. *Journal of Sleep Research* 6, 1–8.
- Gundel, A., Drescher, J., & Polyakov, V.V. 2001. Quantity and quality of sleep during the record manned space flight of 438 days. *Human Factors and Aerospace Safety* 1, 87–98.

- Gushin, V.I., Kholin, S.F., & Ivanovsky, Y.R. 1993. Soviet psychophysiological investigations of simulated isolation: some results and prospects. In: S.L. Bonting(ed.), *Advances in Space Biology and Medicine*, Vol. 3. Greenwich: JAI Press, 5–14.
- Gushin, V.I., Zaprisa, N.S., Kolinitchenko, T.B., Efimov, V.A., Smirnova, T.M., Vinokhodova, A.G., and Kanas, N. 1997. Content analysis of the crew communication under prolonged isolation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 68, 1093–1098.
- Heuer, H. et al. 2003. Impairments of manual tracking performance during spaceflight are associated with specific effects of microgravity on visuomotor transformations. *Ergonomics* 46, 920–934.
- Howard, I.P. 1986. The perception of posture, self-motion, and the subjective vertical. In: K.R. Boff, L. Kaufman, and J.P. Thomas(eds.), *Handbook of Perception and Performance, Vol I: Sensory Processes and Perception*, New York: Wiley, 1–62.
- Kelly, A.D. & Kanas, N. 1992. Crewmember communication in space: a survey of astronauts and cosmonauts. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 63, 721–726.
- Kornilova, L.N., Mueller, C., & Chernobyl'skii, L.M. 1995. Phenomenology of spatial illusory reactions under conditions of weightlessness. *Human Physiology* 21, 344–351.
- Kornilova, Lyudmila. 1997. Orientation illusions in space flight. *Journal of Vestibular Research* 7, 429–439.
- Lackner, J.R. & DiZio, P. 1993. Multisensory, cognitive, and motor influences on human spatial orientation in weightlessness. *Journal of Vestibular Research* 3, 361–372.
- Lackner, J.R. & DiZio, P. 2006. Space motion sickness. *Experimental Brain Research*, 175, 377–399.
- Lebedev, Valentin. 1988. *Diary of a Cosmonaut: 211 Days in Space*. (ed. D. Puckett). College Station TX: Phytoresource Research Information Service (in cooperation with) The G.L.O.S.S. Co.
- Leone, G. et al. 1995. Is there an effect of weightlessness on mental rotation of three-dimensional objects? *Cognitive Brain Research* 2, 255–267.
- Mallis, M.M. & DeRoshia, C.W. 2005. Circadian rhythms, sleep and performance in space. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 76(Suppl.), B94–107.
- Manzey, D., Lorenz, B., & Polyakov, V. 1998. Mental performance in extreme environments: results from a performance monitoring study during a 438-day spaceflight. *Ergonomics* 41, 537–559.
- Matsnev, E.I. et al. 1983. Space motion sickness: phenomenology, countermeasures, and mechanisms. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 54, 312–317.
- Mitani, K., Horii, A., & Kubo, T. 2004. Impaired spatial learning after hypergravity exposure in rats. *Cognitive Brain Research* 22, 94–100.
- Mollicone, D.J., van Dongen, H.P.A., & Dinges, D.F. 2007. Optimizing sleep/wake schedules in space: sleep during chronic nocturnal sleep restriction with and without diurnal naps. *Acta Astronautica* 60, 354–361.
- Monk, T.H. et al. 1998. Sleep and circadian rhythms in four orbiting astronauts. *Journal of Biological Rhythms* 13, 188–201.
- Monk, T.H. et al. 2001. Decreased human circadian pacemaker influence after 100 days in space: a case study. *Psychosomatic Medicine* 63, 881–885.

- Monk, T.H.*et al.* 2004. Using nine 2 h delays to achieve a 6-h advance disrupts sleep, alertness, and circadian rhythm. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 75, 1049–1057.
- Monk, T.H., Buysse, D.J.&Billy, B.T. 2006. Using daily 30-min phase advances to achieve a 6-hour advance: circadian rhythm, sleep and alertness.*Aviation, Space, and Environmental Medicine* 77, 677–686.
- Moore, T.P.&Thornton, W.E. 1987. Space shuttle in-flight and post-flight fluid shifts measured by leg volume changes.*Aviation, Space and Environmental Medicine* 58, A91–A96.
- Morphew, E., Balmer, D.V.&Khoury, G.J. 2001. Human performance in space. *Ergonomics in Design* 9, 6–11.
- Myasnikov, V.I. &Zamaletdinov, I.S. 1998. Psychological states and group interactions of crew members in flight (Reprint).*Human Performance in Extreme Environments* 3, 44–56.
- Nechaev, A.P. 2001. Work and rest planning as a way of crew member error management. *Acta Astronautica*. 49:271–278.
- Newberg, Andrew. 1994. Changes in the central nervous system and their clinical correlates during long-term space flight.*Aviation, Space, and Environmental Medicine* 65, 562–572.
- Putcha, L.*et al.* 1999. Pharmaceutical use by U.S. astronauts on space shuttle missions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 70, 705–708.
- Reschke, M.F.*et al.* 1994. Neurophysiologic aspects: space motion sickness. In A.E. Nicogossian, C. Leach Huntoon, & S.L. Pool(eds.), *Space Physiology and Medicine*. 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 228–260
- Reschke, M.F.*et al.* 1998. Posture, locomotion, spatial orientation, and motion sickness as a function of space flight. *Brain Research Reviews* 28, 102–117.
- Santy, P.A.*et al.* 1988. Analysis of sleep on Shuttle missions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 59, 1094–1097.
- Schifflett, S.*et al.* 1995. *Performance Assessment Workstation (PAWS)*. Final Report, IML-2 Mission, National Aeronautics and Space Administration, Life Sciences Project Division, JohnsonSpaceCenter, Houston, TX.
- Schlegel, R.*et al.* 1995. The NASA performance assessment workstation: Astronauts vs. a ground-based reference group. In Proceedings of the 11th IAA Man-in-Space Symposium, Toulouse, 27–31 March (Abstract).
- Stoilova, I. *et al.* 1990. Study of sleep during a prolonged spaceflight: the “MIR” orbiting station. In: K. Broda(ed.), *Current Trends in Cosmic Biology and Medicine*. Ivanka Pri Dunaji: Sloval Academy of Sciences.
- Stoilova, I., Zdravev, T., &Yanev, T. 2003. How humans sleep in space – investigations during space flight. *Advances in Space Research* 31, 1611–1615.
- Stuster, Jack. 1996. Bold Endeavors: Lessons from Polar and Space Exploration. *Gravitational and Space Biology Bulletin* 13, 49–58.
- Van Dongen, H.P.A. *et al.* 2003. The cumulative costs of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic

sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep* 26, 117–126.

Watt, Douglas. 1997. Pointing at memorized targets during prolonged microgravity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 68, 99–103.

Young, L.R. et al. 1993. Spatial orientation and posture during and following weightlessness: Human experiments on spacelab Life Sciences 1. *Journal of Vestibular Research* 3, 231–239.

Jovan Davidović, Svetlana Čičević, Milkica Nešić

PSYCHO PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF HUMAN ADAPTATION TO OPEN SPACE

Summary: Modern science sets the imperative of acquiring new knowledge about the effects of extreme conditions of living and working in space on human performance. For efficient physiological adaptation to space requirements changes due to microgravity effects on psychophysiological functions are crucial. The most significant changes occur in the functioning of the cardiovascular, sensorimotor and musculoskeletal system. Violated congruence between visual, vestibular and proprioceptive signals induces sensory conflict (spatial disorientation) and visual illusions. Phase delay and reduced amplitude of temperature rhythm and cortisol secretion have been observed, leading to cognitive performances decrements [prolonged reaction time, increasing number of errors, deterioration of working memory). In terms of psychosocial adaptation characterised by different changes of mood, fatigue, demotivation, loss of appetite, depression, and expression of negative personality occur. In order to minimize the impact of these stressors, appropriate knowledge base is necessary that would allow a careful selection and training of crew members.