КОСМИЧЕСКА РАДИАЦИЯ И КОГНИТИВНИ ФУНКЦИИ

Александър Кузев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: alekskuzef@abv.bg

Ключови думи: *Космическата радиация, централна нервна система, когнитивни способности*

Резюме: *Космическата радиация е един от основните биологични рискове при продължителни мисии извън защитата на земната магнитосфера. Галактическата космическа радиация съдържа високоенергийни частици, включително тежки йони, които могат да проникнат през защитата на космическия кораб и да достигнат до човешките тъкани. Особено тревожен е потенциалният ефект върху централната нервна система, тъй като когнитивните способности са от решаващо значение за безопасното изпълнение на космическа мисия.*

При пътувания до Марс например астронавтите ще бъдат изложени на радиация в продължение на месеци. През този период те ще трябва да поддържат висока концентрация, да запомнят информация, да се ориентират в пространството, да изпълняват сложни процедури и да вземат решения при непредвидени ситуации. Затова учените изследват дали космическата радиация може да промени работата на мозъка и дали тези промени могат да останат дълго след самото облъчване.

COSMIC RADIATION AND COGNITIVE FUNCTIONS

Aleksandar Kuzev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: alekskuzef@abv.bg

Keywords: *Cosmic radiation, central nervous system, cognitive abilities*

Abstract: *Cosmic radiation is one of the major biological risks associated with long-duration missions beyond the protection of Earth's magnetosphere. Galactic cosmic radiation consists of high-energy particles, including heavy ions, that can penetrate spacecraft shielding and reach human body. Of particular concern are the potential effects on the central nervous system, as cognitive abilities are essential for the safe execution of space missions.*

During missions to Mars, for example, astronauts will be exposed to radiation for several months. Throughout this period, they will need to maintain a high level of concentration, retain information, navigate in space, perform complex procedures, and make decisions in extreme conditions. Therefore, scientists are investigating whether cosmic radiation can alter brain functions and whether such changes may persist long after radiation exposure has ended.

Въведение

Трайни когнитивни нарушения.

Едно от важните експериментални изследвания на влиянието на космическата радиация върху мозъка е проведено с животински модели. Целта на учените е да установят дали излагането на високо енергийни частици може да доведе до трайни нарушения в обучението и паметта [1].

Животните са подложени на различни поведенчески тестове, чрез които се изследват отделни компоненти на когнитивните функции. Изследователите проверяват способността на животните да разпознават нови обекти, да запомнят местоположението на обекти, да различават реда на събитията и да променят поведението си, когато правилата на задачата се променят [1].

Това е особено важно, защото човешката когнитивна дейност не се състои само от „памет“. За да изпълни сложна задача, мозъкът трябва едновременно да приема информация, да я запомня, да определя кое е важно, да променя стратегията си и да реагира адекватно на нови условия [1].

Резултатите от експеримента показват, че радиационното въздействие може да доведе до нарушения в няколко различни области на когнитивното функциониране. Наблюдавани са проблеми при разпознаването на обекти, пространствената памет и паметта за времевия ред. Изследването показва също, че част от тези нарушения могат да бъдат устойчиви и да се наблюдават дълго след първоначалното облъчване [1].

Памет и хипокамп

По-ново изследване използва по-сложна симулация на галактическата космическа радиация, състояща се от 33 различни радиационни компонента. Този подход е предназначен да се доближи повече до сложния спектър на радиацията, с която би могъл да се сблъска организмът при продължително пътуване в дълбокия космос [2].

В експеримента са изследвани мъжки и женски мишки, изложени на остра или хронична радиация. Учените не се ограничават само до поведенчески тестове. Те изследват и функционирането на нервните клетки в хипокампа – мозъчна структура, която играе ключова роля във формирането на паметта и пространственото учене [2].

При животните е изследвана способността да запомнят промени в местоположението на обекти. Това позволява да се оцени т.нар. хипокампално-зависима памет. Проведен е и тест за разпознаване на нов обект, чрез който се проверява дали животното разпознава информация, с която вече се е сблъсквало.

Резултатите показват, че ефектите на космическата радиация могат да бъдат различни при мъжки и женски животни. При женските мишки се установяват устойчиви нарушения във формирането и реконсолидирането на хипокампално-зависимата памет. При мъжките мишки по-ясно се наблюдава нарушение в разпознаването на нови обекти.

Това означава, че една и съща радиационна експозиция не задължително предизвиква абсолютно еднакъв когнитивен отговор при различните организми.

Когато радиацията променя самите връзки между невроните

Изследването не спира до поведението на животните. Учените изследват как функционират нервните клетки в CA1 областта на хипокампа.

Един от използваните показатели е дългосрочната потенциация – LTP. Тя представлява продължително увеличаване на ефективността на синаптичната комуникация между нервните клетки и е един от основните експериментални модели за изучаване на процесите, свързани с ученето и паметта.

След радиационното въздействие е установено значително намаляване на LTP в хипокампа и при двата пола. Това е важно, защото показва, че радиацията не просто кара животното да се представя по-зле на даден тест. Тя може да промени начина, по който нервните мрежи се адаптират и комуникират.

Изследователите установяват и промени в синаптичните структури, включително в постсинаптичните области на нервните клетки. Наблюдавани са и промени в миелинизацията на нервните влакна.

Така резултатите сочат към многостранно въздействие върху мозъка – поведенчески промени, промени в паметта, нарушения на синаптичната пластичност и структурни промени в нервната тъкан.

Неврогенеза – може ли мозъкът да се възстанови?

Това изследване добавя много интересен въпрос към темата: Какво се случва с мозъка месеци и дори години след радиационното въздействие?

Учените използват мъжки и женски мишки, които са изложени на ^56Fe йони – тежки високоенергийни частици, използвани като модел на компоненти на галактическата космическа радиация. Животните получават различни дози, а мозъчните и поведенческите промени са проследявани в продължение на много месеци.

Особено внимание е отделено на хипокампа. Изследователите анализират неврогенезата, синаптичната пластичност и пространственото учене.

Два месеца след облъчването се наблюдава потискане на образуването на нови нервни клетки в хипокампа. Наред с това се установяват нарушения в синаптичната пластичност и пространственото учене.

Но след шестия месец картината започва да се променя. Дефицитите в пространственото учене вече не се наблюдават по същия начин, а синаптичната потенциация започва да се увеличава. На 12-ия месец е установено значително увеличаване на новообразуваните нервни клетки.

Това е един от най-интересните резултати в изследването, защото предполага, че мозъкът може да активира компенсаторни или възстановителни механизми след първоначалното радиационно увреждане [4].

Мозъкът не се предава лесно

Особено впечатляващото в това изследване е, че ефектът на радиацията не се развива по права линия. Първоначално се наблюдава увреждане, но с течение на времето нервната система показва признаци на адаптация.

Два месеца след радиационното въздействие броят на новообразуваните нервни клетки е намален. Дванадесет месеца по-късно обаче броят им се увеличава значително над нивата на контролните животни. Подобна времева динамика се наблюдава и при синаптичната пластичност и пространственото учене.

Това предполага, че мозъкът може да реагира на първоначалното увреждане чрез активиране на механизми, които се опитват да възстановят или компенсират нарушената функция.

Авторите предполагат, че тези компенсаторни процеси могат да продължат много дълго след първоначалното радиационно въздействие. По този начин еднократната експозиция може да има влияние върху пластичността и когнитивните функции за много продължителен период.

Пространствено учене

Пространственото учене е особено важна когнитивна функция, защото позволява на организма да създава представи за местоположението на обектите и за отношенията между тях. То е тясно свързано с функцията на хипокампа.

В експериментите с мишки учените установяват, че радиационното въздействие може първоначално да наруши пространственото учене. Животните, изложени на ^56Fe частици, показват по-слабо представяне в задачите, които изискват запомняне и използване на пространствена информация.

Интересното е, че тези нарушения не се запазват непроменени през целия период на наблюдение. При по-късните измервания се установява подобряване на пространственото представяне, което съвпада с промени в синаптичната пластичност и увеличаване на броя на новообразуваните нервни клетки.

Това подкрепя идеята, че когнитивните последствия от космическата радиация могат да бъдат динамични. Мозъкът може първоначално да бъде увреден, но след това да започне процес на функционална компенсация.

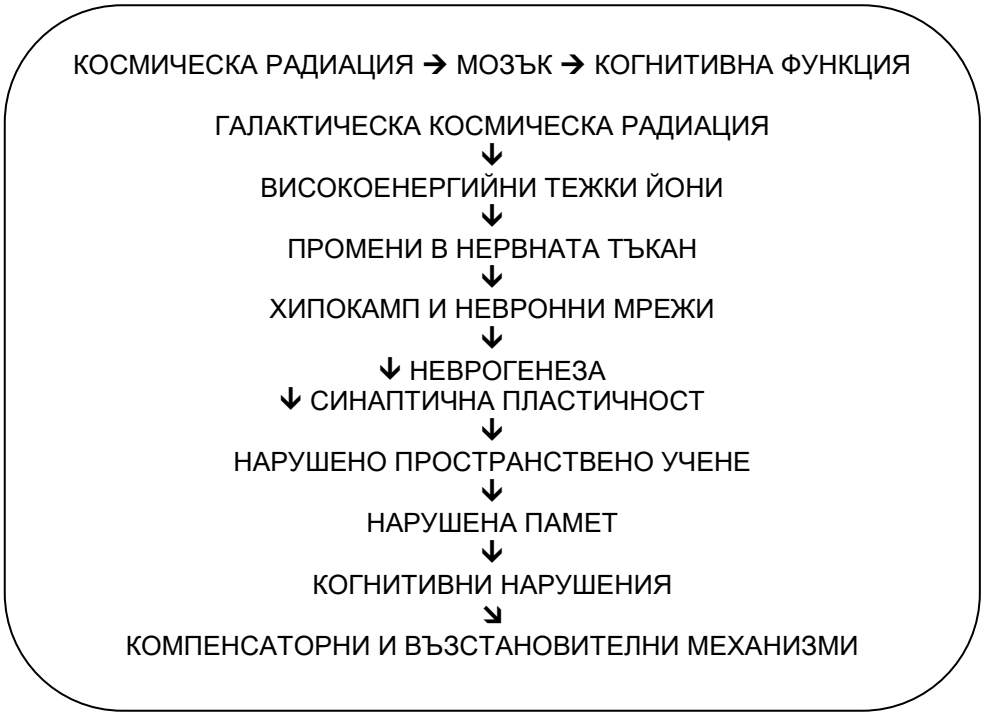
Трите изследвания – една обща картина

Когато резултатите от трите изследвания се разглеждат заедно, се очертава сложна връзка между космическата радиация и когнитивните функции.

Първото изследване показва, че радиационното въздействие може да доведе до продължителни нарушения в различни видове памет и когнитивна гъвкавост. Второто показва, че по-реалистичната симулация на галактическата космическа радиация може да засегне хипокампално-зависимата памет и синаптичната пластичност. Третото показва, че след първоначалното увреждане мозъкът може да активира дългосрочни компенсаторни механизми.

Следователно въздействието на космическата радиация върху когнитивните функции не трябва да се разглежда само като еднократно „увреждане на мозъка“. То представлява динамичен процес, при който могат да се наблюдават увреждане, функционални промени, адаптация и компенсация.

Тези резултати са особено важни за бъдещите мисии до Марс и други дестинации в дълбокия космос. Необходимо е да се разбере не само как радиацията увреждa нервната система, но и как мозъкът се опитва да се справи с това увреждане.



Фиг. 1. Трите изследвания – една обща картина

Резултатите показват (Фиг. 1), че радиацията може да въздейства върху мозъка на няколко нива – да промени поведението и паметта, да отслаби връзките между невроните и да предизвика структурни изменения в нервната тъкан.

Освен върху поведението и паметта, радиацията може да окаже влияние и върху самите нервни клетки в мозъка, по-специално в областта CA1 на хипокампа, която има важна роля за ученето и запаметяването.

Учените установяват, че след излагане на радиация значително намалява дългосрочната потенциация (LTP). Това е процес, при който връзките между нервните клетки стават по-силни и по-ефективни. Той е изключително важен за формирането и съхраняването на спомени.

Намаляването на LTP показва, че радиацията не просто влошава представянето на животните при тестове, а може да наруши и начина, по който нервните клетки общуват и изграждат връзки помежду си. Този ефект е наблюдаван както при мъжките, така и при женските животни.

Освен това са открити промени в структурата на синапсите, чрез които невроните обменят информация, както и в миелиновата обвивка на нервните влакна, която подпомага предаването на нервните сигнали.

Защо това е важно за астронавтите?

При бъдещи мисии до Марс астронавтите ще трябва да функционират в среда, в която земната магнитосфера вече няма да осигурява същата степен на защита от космическата радиация.

Когнитивната функция ще бъде критична за успеха на мисията. Астронавтите ще трябва да запомнят сложни процедури, да обработват информация, да поддържат внимание за продължителни периоди, да се ориентират в пространството, да променят стратегията си при неочаквани ситуации и да вземат решения в условия на стрес и ограничени ресурси.

Затова дори умерено нарушение на паметта, вниманието или когнитивната гъвкавост би могло да има значение за безопасността на екипажа.

Животинските експерименти не доказват, че хората ще развият същите нарушения. Те обаче предоставят възможност за изследване на механизмите, които могат да стоят зад подобни ефекти, и за разработване на бъдещи стратегии за защита на мозъка.

Заключение

Космическата радиация представлява сериозно предизвикателство за бъдещите дългосрочни космически мисии. Експериментите върху мишки показват, че високоенергийните частици могат да повлияят на различни когнитивни функции, включително паметта, ученето и пространствената ориентация.

Изследванията показват, че радиационното въздействие може да промени функцията на хипокампа, да потисне неврогенезата и да наруши синаптичната пластичност. Тези промени могат да бъдат свързани с нарушения в ученето и паметта.

В същото време мозъкът демонстрира забележителна способност за адаптация. Част от промените могат да бъдат последвани от компенсаторни процеси, които продължават месеци и дори години след радиационното въздействие.

Разбирането на взаимодействието между космическата радиация и мозъка е ключово за защитата на когнитивните функции и безопасността на бъдещите астронавти.

Литература:

1. Parihar et al., 2016, Cosmic Radiation Exposure and Persistent Cognitive Dysfunction.
2. Alaghband et al., 2023, Galactic Cosmic Radiation Exposure Causes Multifaceted Neurocognitive Impairments.
3. Omid Miry, Xiao lei Zhang, Linnea R. Vose, et al., Life-long brain compensatory responses to galactic cosmic radiation exposure. Scientific Reports | (2021) 11:4292 | https://doi.org/10.1038/s41598-021-83447-y
4. Miry et al., 2021, Life-long Brain Compensatory Responses to Galactic Cosmic Radiation Exposure.