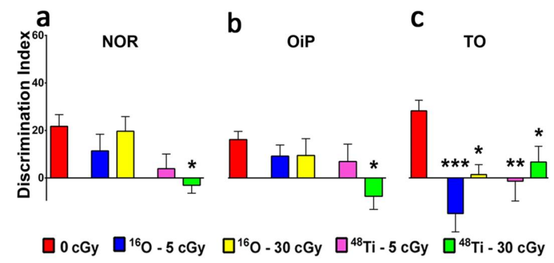
SES 2026
Twenty-second International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
20–24 October 2026, Stara Zagora, Bulgaria

КОСМИЧЕСКА РАДИАЦИЯ И КОГНИТИВНИ ФУНКЦИИ

Александър Кузев
Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

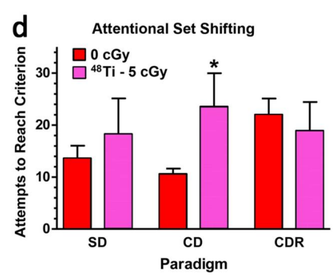
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДОКАЗАТЕЛСТВА ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ МИШКИ

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.



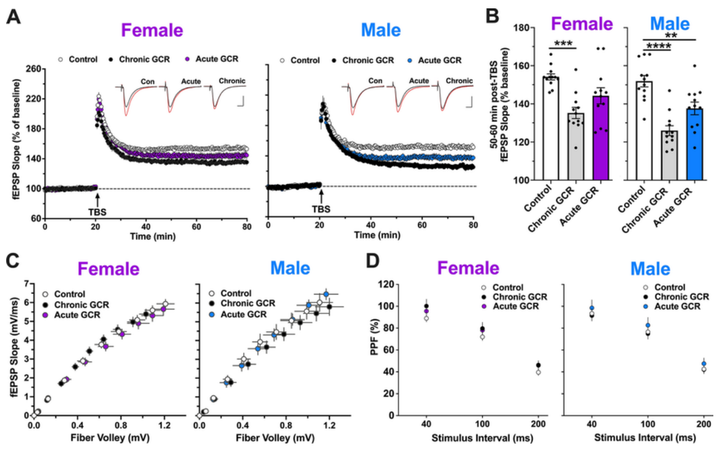
ТРАЙНИ КОГНИТИВНИ НАРУШЕНИЯ

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 високоенергийни частици може да доведе до трайни нарушения в ученето и паметта.
Животните са подложени на различни поведенчески тестове, чрез които се изследват отделни компоненти на когнитивната функция. 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.
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.
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.



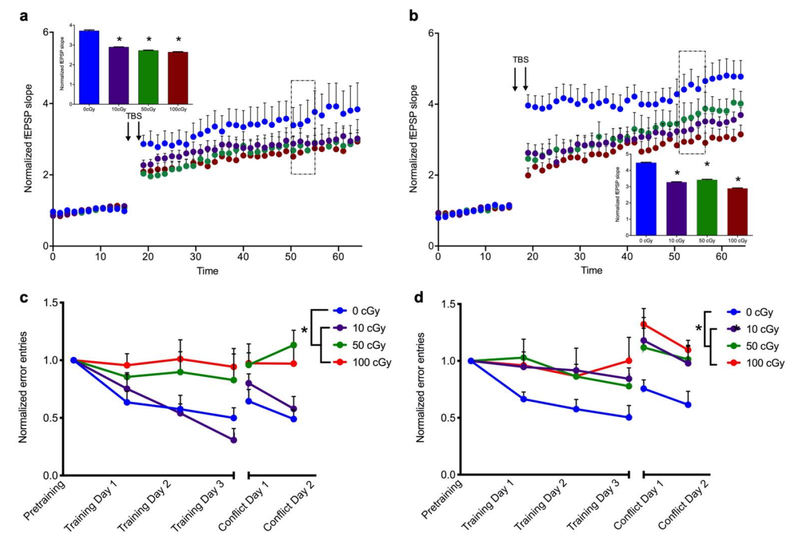
ПАМЕТ И ХИПОКАМП

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.
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.
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.



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.

ТРИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ – ЕДНА ОБЩА КАРТИНА

КОСМИЧЕСКА РАДИАЦИЯ → МОЗЪК → КОГНИТИВНА ФУНКЦИЯ

ГАЛАКТИЧЕСКА КОСМИЧЕСКА РАДИАЦИЯ → ВИСОКОЕНЕРГИЙНИ ТЕЖКИ ЙОНИ → ПРОМЕНИ В НЕРВНАТА ТЪКАН → ХИПОКАМП И НЕВРОННИ МРЕЖИ
↓
↓ НЕВРОГЕНЕЗА → СИНАПТИЧНА ПЛАСТИЧНОСТ → НАРУШЕНО ПРОСТРАНСТВЕНО УЧЕНЕ → НАРУШЕНА ПАМЕТ
↓
КОГНИТИВНИ НАРУШЕНИЯ → КОМПЕНСАТОРНИ И ВЪЗСТАНОВИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

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