

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПОЛУАВТОНОМЕН КОСМИЧЕСКИ РОБОТ ЗА РЕАНИМАЦИЯ В СУБОРБИТАЛНИ ПОЛЕТИ

Мелани Пиргова^{1,2}, Антон Атанасов², Габриел Дичев¹, Бора Доѓан¹, Гергана Николова^{1,2}

¹Медицински университет “Проф. д-р Параскев Стоянов”

²Висше военноморско училище “Никола Йонков Вапцаров”

e-mail: antonatanasov2002@gmail.com

Ключови думи: космическа медицина, автономен медицински робот, изкуствен интелект

Резюме: Полу-автономен космически робот за реанимация може да замени нуждата от медицински персонал в кабината на суборбитално превозно средство и да освободи от ограниченото пространство в кабината на пасажерите, и заедно с това да осигури здравето на космическите туристи. Предложеният робот е съставен от отделни модули, способни да извършват определени медицински операции. Докато се изпълнява медицинска манипулация върху космически турист, роботът ще работи с помощта на топологични модели, които пресъздават анатомията на организма. Преди суборбиталния полет се прави пространствена визуализация на тялото на всеки турист, която се използва във виртуална и вградена реалност, което позволява на необучено лице да извърши дадено лечение вместо робота. Този робот ще се управлява от медицински екип на земната станция, или от изкуствен интелект, който е свързан с наблюдателната система на космическите туристи. Наблюдателната система представлява самостоятелни самозалепящи кожни лепенки - сензори, които наблюдавайки кръвното налягане, сърдечната активност, наситеността на кислород, киселинността и нивата на захар в кръвта, количествата на определени електролити и телесната температура, измерват цялостното състояние на организма, и общото ниво на стрес.

APPLICATION FOR THE SEMI-AUTONOMOUS RESUSCITATION SPACE ROBOT IN SUBORBITAL FLIGHTS

Melani Pirgova^{1,2}, Anton Atanasov², Gabriel Dichev¹, Bora Doğan¹, Gergana Nikolova^{1,2}

¹Medical University of Varna “Prof. Dr. Paraskev Stoyanov”

²Naval Academy “Nikola Yonkov Vaptsarov”

e-mail: antonatanasov2002@gmail.com

Keywords: space medicine, autonomous medical robot, artificial intelligence

Abstract: A semi-autonomous robot for suborbital flight vehicles can be used in the place of medical personnel in order to optimize the limited space inside the passenger cabin, while utilizing a number of modern technologies to provide the safety of space tourists. The proposed robot consists of separate modules, capable of carrying out specific medical treatments. While performing medical manipulations to a space tourist, the robot will operate with the help of topological models, recreating their anatomy. Spatial visualization of each space tourist's body is done prior to the suborbital flight, and will be used in an augmented reality environment, which enables untrained individuals to perform treatments in place of the robot. The robot is controlled from a ground station, or by an artificial intelligence, connected to the monitoring system that consists of self-adhesive skin patch sensors and a smart suit, specially designed for onboard suborbital vehicles. The skin patches measure the overall condition of space tourists by monitoring blood pressure, heart activity, oxygen saturation, acidity and glucose in the blood, the levels of specific electrolytes, body temperature and the organism's general stress level.

Въведение

Мечтата да видим Космоса отблизо и да се насладим на неговата гледка все повече се доближава до реалността не само за астронавтите, но и за обикновените хора. Изключително важно е да се запази здравното състояние на бъдещите космически туристи по време на

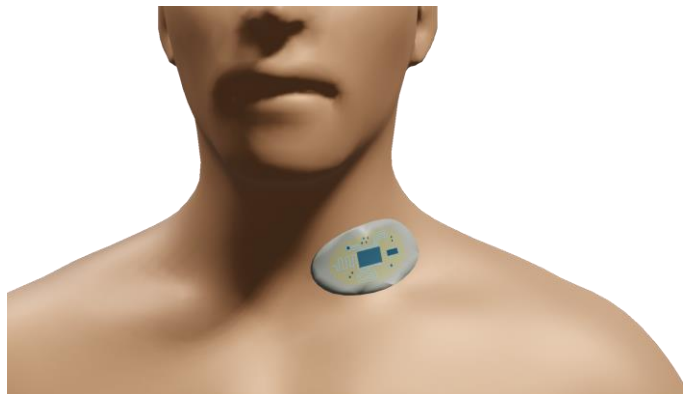
суборбитални полети. Това ще се постигне чрез наблюдение на жизнените показатели, диагноза и отстраняване на здравословни проблеми. Всяка от тези функции ще се изпълнява от автономен робот и система за наблюдение в суборбиталното превозно средство по време на полет. Чрез този автономен робот за реанимация ще може да се променят изискванията за успешна квалификация за суборбитален полет. Неговият дизайн е модулен и е пряко свързан с неинвазивни сензори под формата на самозалепващи се кожни лепенки. Тези системи ще са свързани с база данни, разполагаща с изкуствен интелект за обработка на информация както от полета, така и преди и след него. С тези системи ще се осигури здравна безопасност на космическите туристи и суборбиталните полети ще бъдат достъпни за голям брой хора.

Космическите туристи ще бъдат екипирани с умни костюми и повърхностни сензори, които ще следят жизнените им показатели по време на всички фази от полета. Костюмите и самозалепващите повърхностни сензори непрекъснато ще измерват кръвното налягане, сърдечния ритъм, нивата на кръвна захар, насищането на кислород в хемоглобина и телесната температура. Сензорната информация ще се обработва от костюма и ще се предава до базата данни на борда на суборбиталното превозно средство. Там данните ще бъдат сравнявани с нормалното здравословно състояние за всеки космически турист, определено по време на тренировъчните процедури преди полета. При възникването на необичайно натоварване на пасажер в кабината, базата данни ще извести както земната станция, така и пасажера относно какви действия е нужно да се предприемат. Някои лекарства ще могат да се внасят трансдермално. Това са главно разтвори, които лесно могат да проникват през кожата или ефективно могат да се използват с продължителен приток на малки количества

Идеите, представени в статията, са в основата на проект, с който авторите участваха в Конкурса Aerospace Student Challenge, организиран от Европейската космическа агенция през 2022 година. В конкуренция с над 100 проекта на студенти от европейски университети, проектът „Полу-автономен космически робот за реанимация“ беше отличен като най-добър в направление Медицина. Екипът получи специалната награда Dassault Aviation Prize.

“Умен” костюм

Всеки един космически турист ще бъде снабден с лепенки за кожа с вградени сензори, които ще бъдат прикрепени за определени места на тялото, съобразени с дебелината на кожата (Фиг. 1).



Фиг. 1. Кожна сензорна лепенка за измерване на кръвно налягане и сърдечна активност

Тези сензорни лепенки ще бъдат настроени индивидуално за да вземат прецизни измервания за всеки организъм. Всеки турист също ще бъде облечен с “умен” костюм, показан на Фиг. 2, който безжично се свързва с кожните лепенки и ще им предоставя допълнителна електрическа енергия, посредством батерии, които ще са вградени в материята на облеклото. Преносът на енергия се осъществява чрез електромагнитна индукция или с допир с електропроводими платове на вътрешното покритие на облеклото. Костюма ще получава необработените сигнали от лепенките за да ги обработи преди да ги предаде на базата данни на суборбиталното превозно средство. Космическото облекло няма да бъде фокусирано единствено към сензорната технология, а ще обръща внимание и на комфорта и функционалността по време на суборбитален полет.



Фиг. 2. Костюм за суборбитален полет

За целта пътниците на суборбиталния полет да бъдат информирани за здравословното си състояние в реално време, всеки костюм ще бъде оборудван с гъвкав екран, чувствителен на допир, който ще бъде вграден в материята на облеклото. Космическите туристи ще могат да използват екрана за да наблюдават жизнените си показатели, или да следят информация за полета. При случай, в който някой от пътниците се нуждае от медицинска помощ от роботът за реанимация, неговият костюм ще възпроизведе звуков сигнал. Това ще информира останалите туристи ако се налага да освободят пространство за намесата на робота или да го насочат към неговата цел.

Костюмите също така ще имат и инфрачервени светлинни мишени за проследяване, както и инерциални датчици, които ще служат на камерите в кабината на суборбиталното превозно средство в определянето на позицията и ориентацията на всеки космически турист в триизмерната среда. Ще се използва 3D виртуална реалност с цел робота и медицинските експерти на земята да реагират оптимално и да дават насоки на туристите в реално време. Тя ще бъде важна част и от системата за вградена реалност, която ще се използва в по-тежки злополуки. В непредвиден случай, в който се налага човешка намеса, медицинският екип ще посочи някой от здравите пасажери, който да използва един от наличните в кабината устройства за вградена реалност. Медицинските експерти ще разполагат с данните от оборудването за измерване на жизненни показатели и ще насочват немедицинското лице да извършва сложни манипулации. Потокът от данни, минаващ през вградената реалност ще се предава на живо до екипа в земната станция.

Тъй като костюмите ще имат пряко взаимодействие с робота за реанимация докато той оперира върху космическите туристи, облеклото ще бъде проектирано да бъде възможно най-полезно за целта. На тях ще бъдат разположени комбинация от затягащи колани на ключови места, като зоната около гръдния кош и колан зад гърба, които да прикрепят модулите на робота към тялото на туриста и да предоставят нужното позициониране за извършването на някои манипулации, като сърдечен масаж и интубация. Детайли по облеклото, като значки, бродерия и ципове ще бъдат разположени извън досега на робота, за да не затрудняват неговата функция. Облеклата също така ще съдържат електродни пластини за да се осигури възможно най-бърза реакция при процедура за дефибрилация.

Кожни сензорни лепенки

Самозалепващите кожни сензорни лепенки са напълно неинвазивен метод да се наблюдава състоянието на организма отблизо. Те са леки и с малки размери, и могат лесно да бъдат приложени и премахнати без заплахата от риск от инфекция и са лесно заменими в случай на повреда (Фиг. 1). Между кожата и лепенките, разчитащи на ултразвук, се добавя тънък слой силикон като контактна среда, която да замести краткотрайния гел, използван в обичайните апарати за ултразвук.

Множество самозалепващите кожни сензорни лепенки с различни параметри могат да се прилагат с цел да се следят различни показатели, като предлагат приспособени варианти на сензорите за отделните космически туристи, съобразно състава и дебелината на кожата, нейната повърхност и потоотделяне.

Основният вид самозалепващ сензор ще следи кръвно налягане и сърдечен ритъм, като приложението му е най-ефикасно близо до зона с главен кръвоносен съд [1]. Интегралната схема на сензора излъчва безобидни ултразвукови пиезоелектрични импулси и измерва времето на закъснение на отразения звук за да определи ширината на кръвоносния съд, а след това и скоростта на кръвната течност чрез Доплеровото отместване на честотата от пиезоелектричния импулс. Ултразвуковата технология на сензорите има способността да засича промени в кръвоносни съдове до 4 сантиметра под повърхността на кожата. Същият сензор може да измерва слабата електрическа активност на сърцето, породена от мускулните съкращения във всеки сърдечен цикъл, характерни с преноса и повторното насищане на невротрансмитерни йони по време на мускулната активност. Специализиран сензор се използва за наблюдение на сърцето като цялостното устройство за електрокардиография.

Заедно с кръвното налягане, отделен самозалепващ сензор ще следи наситеността на кислород в кръвта на индивиди в риск от усложнения в дихателната система [2]. Лепенката използва излъчвател на червена светлина с дължина 660 нанометра и на инфрачервена светлина с дължина 940 нанометра, като чрез измерване на количеството погълната светлина се изчислява съотношението окислен към неокислен хемоглобин. Базата данни се известява при наличието на измервания под 95%. Сензорното устройство определя и дихателния ритъм, като засича лекото повишение в сърдечния пулс по време на вдишване, последвано от увеличението на паузите между сърдечните удари след издишване. По този начин чрез респираторна синусова аритмия ще се следи стабилното дишане на космическите туристи.

Още един от видовете повърхностни сензори ще позволи на космически туристи с диабет да се насладят на суборбитални полети като измерва нивата на кръвна захар [3]. Този вид сензор е снабден с инфрачервен източник на светлина, чрез която оптично се измерва концентрацията на глюкоза в дермата [4]. Дължините на светлинната вълна между 1.0 и 1.1 микрометра могат да използват за измерване на глюкозната концентрация до 3 милиметра под повърхността на кожата без нуждата от директен контакт с кръвта. Ще се измерват също и нивата на лактат, главно в пациенти с диабет тип 2, при които често се срещат двойно или тройно повишени нива на лактат в кръвта от обичайното. Интегралната схема борави с излъчване на електромагнитни вълни с честота между 10 MHz и 4 GHz и наблюдава реакцията на течностите под кожата, като следи за електромагнитния резонанс на специфични вещества [5]. Тези измервания са полезни и за следенето на скоростта на метаболизма, консумацията на енергия в тялото, както и за откриване на признаци, свързани с ракови тумори.

Измерването на киселинност на кръвта се прави с цел да се засича наличието на дисбаланс в хомеостазата на организма [6]. Чрез него, медицинския екип ефикасно ще забелязват признаци на вътрешна инфекция или на органи с нарушена функция като белите дробове и бъбреците. Методът за измерване на pH е подобен на този на пулсоксиметъра - прилага се спектроскопия на светлина с дължина на вълната между 520 нанометра и 680 нанометра. Спектралният анализ разкрива нивата на различните състояния на хемоглобина: COHb, MetHb, HHb [7].

Чрез използване на светлинна спектроскопия от повърхностните кожни лепенки могат да се наблюдават и различни йони в състава на кръвта [8][9]. Сензорите имат способността да следят електролитите в кръвната течност за да намалят риска от неочакван сърдечен удар, мускулни крампи, които водят до затрудненост на дишането или общи признаци за физическа умора. Лепенките ще бъдат отговорни за измерване на йонните концентрации в кръвта, мускулите и нервните тъкани, като светлинна вълна между 1 и 1.9 микрометра разкрива калиевите йони, а дължини между 2 и 2.6 микрометра засичат калциеви йони, от които и двата вида са изключително важни невротрансмитери за нормалната функция на сърцето и общата мускулна и нервна активност.

Кожните лепенки ще имат способността да измерват надеждно нивото на стрес на космическите туристи, като следят електропроводимостта на кожата им посредством количеството на отделената пот - урея, влага и соли, секретирани от кожата, и ще ги съпоставя с дихателния и сърдечния ритъм и телесната температура на организма. Нивото на стрес ще бъде изчислено на базата данни на робота с изкуствен интелект, като се осигуряват прецизни стойности за всеки индивид, независимо от различията от човек до човек в нормални граници.

Към стандартните сензори е добавен и обикновен електронен сензор за температура или инфрачервена оптична камера за да се измерват важни промени във вътрешната телесна температура.

Въпреки че лепенките ще се използват главно за измерване на жизнени показатели, някои от тях могат да бъдат снабдени с малки резервоари, съдържащи лекарствени разтвори, които се свързват с вътрешната повърхност на кожната лепенка, която ще бъде специално проектирана със структура от малки пори и електроди. Тези пори предоставят достъпа към кожата на космическия турист докато количеството приток на разтвора се контролира от

локалната интегрална схема на лепенката, командвана от изкуствения интелект на робота. Електродите подават слаби количества електричен ток на зони от кожата за да регулират притока на кръв в капилярите при нужда. Силата на електричните импулси се съобразява с количеството пот и настоящата проводимост на кожата за да се предизвика слабо дразнене на повърхностните ноцицептори. Захранването за тази функция ще се предоставя от умния костюм за суборбиталния полет.

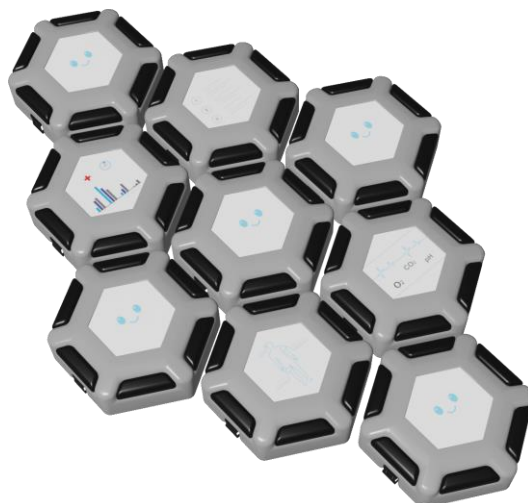
Автономен робот за реанимация в космоса

Роботът ще представлява комбинация от модули, всеки способен да извършва отделна медицинска функция, независимо от останалите системи и човешка намеса. Той ще има способността да изпълнява сърдечен масаж, като специфичния модул се прикрепя към коланите на костюма на космическия турист, и след това посредством пневматична помпа с бутало се компресира гръдния кош с удари, докато следените данни за сърцето се предават от лепенките към робота и медицинския екип на земята в реално време. Веднъж прикрепен, специализирания модул ще бъде способен направи интубация без човешка намеса: гъвкавата навита тръба (подобна на продълговат балон), която стои съхранена във вътрешността на модула, ще бъде спусната във въздухопровода посредством въздушна помпа. Гъвкавата тръба ще бъде лесно деформируема за да се управлява от робота и земния екип, докато навлиза в трахеята, без да наранява околните тъкани.

Друга част от арсенала на робота ще бъде модул със съхранени лекарства, от който ще може да инжектира избрана комбинация с разтвори, определена от изкуствения интелект и одобрена от земния екип. Прецизността на модула ще му позволи той да направи интрадермална, подкожна, мускулна или венозна инжекция, водена от инфрачервени камери и ултразвукови сензори, които позволяват таргетирането на определена тъкан и текущото кръвоснабдяване до нея.

Дизайнът на робота ще бъде модулен, което позволява оптимално да бъдат подбрани неговите системи, съобразно нуждите на групата от космически туристи в кабината. Така ако жизненоважна система е заета или има повреда, за нея ще има резерва, докато не се заема излишно пространство от модули, за които има близо до нулева вероятност те да бъдат необходими за съответната група пасажери.

Всеки един от модулите на робота ще бъде напълно автономен, а когато не се използва, ще бъде закачен за кабината с електромагнити, които регулират силата на закрепване. Когато системата или земният екип определи, че някой от модулите ще бъде необходим, той ще бъде освободен и насочен в нужната посока чрез същите електромагнити. Формата на модулите ще се стреми да сведе риска от нараняване до минимум по време на работа, както и в режим на съхранение, всяко чупливо оборудване и остри инструменти ще бъдат защитени изцяло във вътрешността на модулите, визуално представени на Фиг. 3.



Фиг. 3. Дизайн на модулите на космическия робот за реанимация

Работата на робота ще бъдат под постоянно наблюдение от медицински експерти на земната станция. Това ще позволява човешка намеса с цел робота да не избере погрешно действие за космическите туристи и в същото време ще позволява неговият изкуствен интелект да бъде трениран за по-добро вземане на решения в бъдеще. Медицинският екип разполага с

по-висок приоритет над робота и има правата да променят неговите решения или да вземат ръчен контрол върху неговите системи при необходимост. Въпреки че всички често срещани манипулации ще могат да се покрийт изцяло автоматично от робота, при непредвидена обстановка, пасажерите или земният екип могат да разширят неговите способности.

В такива случаи, когато проблемът не може да бъде разрешен от робота, земният екип ще посочи някой от здравите пасажери, който да борави устройство за вградена реалност и да следва техните насоки. Между земята и суборбиталното превозно средство ще се предава двупосочен поток от видео и данни за триизмерна виртуализация. Триизмерната среда ще бъде изключително полезна за да може необучено лице да замести медицинския персонал, когато е наложително да се акцентира върху бързата първа помощ. С тази система ще визуализират къде се намира зоната на проблема и ще дава директни насоки, с които заместващото лице да извърши нужното лечение.

Благодарности

Изказваме нашите благодарности към проф. Любомир Алексиев и д-р Тургай Калинов за мотивацията да се работи в сферата на космическата медицина. Авторите искат също да благодарят и на доц.д-р Веселка Радева, която е главният инициатор за разработката на тази идея, както и източник на мотивация за младите хора в космическото обучение.

Екипът благодари на Медицински университет - Варна и Висшето военноморско училище за подкрепата в разработването на проекта.

Заклучение

Разработката на описаните медицински системи ще доведат до напредък в медицина при суборбитални полети. Те ще позволят да се създаде голяма база от данни с медицинско наблюдение. Освен това ще бъде възможно да се изучават последиците от множеството вредни явления в космическата среда върху човешкото тяло. Ще се разширят допустимите граници за човешките суборбитални полети. Ще бъде възможно предотвратяването на животозастрашаващи събития по време на суборбитален полет. Запазвайки здравето на бъдещите космически туристи по време на полет ще се постигне бързо развитие на космическия туризъм. Предложеният полуавтономен космически робот ще може да се използва при далечни космически полети.

Литература:

1. Wang, C., Li, X., Hu, H. et al. Monitoring of the central blood pressure waveform via a conformal ultrasonic device. *Nat Biomed Eng* 2, 687–695 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0287-x>
2. Jubran, A. (2015). Pulse oximetry. *Critical Care*, 19(1), 272. <http://doi.org/10.1186/s13054-015-0984-8>
3. IDF, *Diabetes Atlas*, 4th edition, world health organization WHO, update 15-3-2012.
4. In cooperation with Dr. Uwe Netz, Laser- and Medicine Technologie Berlin (LMTB).
5. A. Mason et al., „Non-invasive measurement of blood lactate in humans using microwave sensors,“ 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017, pp. 233–238, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100481.
6. Scharlack, S. Ronald, Mar 23, 1999, NON-INVASIVE MEASUREMENT OF BLOOD PH (U.S. Patent Number: 5,885,212), <https://patents.google.com/patent/US5885212A/en>
7. Prahl, Scott, Molar extinction coefficients of oxy and deoxyhemoglobin compiled. URL: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin>
8. Hale, M. G., and M. R. Querry, Optical constants of water in the 200 nm to 200 μm wavelength region, *Appl. Opt.* 12, 555–563, 1973.
9. Soller, R. Babs, Jan. 8, 2004, METHODS FOR NON-INVASIVE MEASUREMENT OF BLOOD ELECTROLYTE CONCENTRATION (U.S. Pub. No.: US 2004/0005717 A1).