

ვაკუმის გავლენა ადამიანებზე და ცხოველებზე

თეიმურაზ ადგიშვილი, ნუნუ ჩაჩხიანი-ანასაშვილი, დარეჯან ჩხიროძე
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია
ქუთაისის უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი: რა მოუვა ადამიანსა და სხვა ცოცხალ ორგანიზმებს ვაკუმის მდგომარეობაში ყოფნის დროს? ამ შემაჯავებელ ადამიანი დაკარგავს ცნობიერებას, რომელიც მოხდება ფილტვებიდან ჰაერის გამოტუმბვის გამო და ჩვენს ორგანიზმში აირმომოცვლა დაიწყებს ფუნქციონირებას საწინააღმდეგო მიმართულებით. სისხლს ამოეცლება ჟანგბადი და სხვა კომპონენტები. გონის დაკარგვა მოხდება ძალზე სწრაფად. ამ საკითხზე საუბარი წარმოდგენილი ნაშრომში.

საკვანძო სიტყვები: ვაკუმი, კოსმოსური სივრცე, ცოცხალი ორგანიზმები, ადამიანის სისხლი, წნევა.

რამდენად რეალისტურია ეპიზოდი ფილმიდან „2001 წლის კოსმოსური ოდისეა“, რომელშიც ასტრონავტი ბოიმენი გადაადგილდება კოსმოსურ სივრცეში (ფიზიკურ ვაკუუმში) ჩაფხუტის გარეშე? რამდენ ხანს შეუძლია ადამიანს ვაკუუმში ყოფნა? აფეთქდება თუ არა ის? რა დროის განმავლობაში იქნება ის გონზე?

არტურ კლარკმა შესაბამის რომანში ყველაფერი სწორად აღწერა. ადამიანს შეუძლია ვაკუუმში ყოფნა დაახლოებით 90 წუთი, ის არ აფეთქდება და დარჩება ცნობიერებაში თითქმის ათი წუთი.

ყველა საინტერესო ინფორმაცია ამ მხრივ შეიძლება მოვიპოვოთ **კ. ციოლკოვსკის, ფ. ცანდერის, ს. კოროლიოვის, ჰ. ობერტის, რ. გოდარდის, რ. ესნაულოტ-პეტერიესა** და სხვების ნაშრომებში [1,2,3]. რაკეტულ-კოსმოსური საფრენოსნო აპარატების გაშვებამ მეცნიერებს საშუალება მისცა ცხოველებზე კოსმოსური ფრენის პირობებში ჩაეტარებინათ მთელი რიგი მნიშვნელოვანი გამოკვლევები. მათმა შედეგებმა ლაბორატორიულ მონაცემებთან ერთობლიობაში კოსმოსურ მედიცინას შორეული უსაფრთხო გადაფრენების დასაბუთების საშუალება მისცა. თავის მხრივ ადამიანის ვაკუმის გავლენასა და საერთოდ კოსმოსური მედიცინის განვითარებას ხელი შეუწყო საბჭოთა, ამერიკელი და სხვა ქვეყნების ხანგრძლივი პილოტირებული კოსმოსური ფრენების დროს განხორციელებულმა დაკვირვებებმა.

კოსმოსური ფრენის დროს ცოცხალ ორგანიზმებზე მოქმედება შეუძლია ფაქტორთა სამ ჯგუფს. პირველი ჯგუფი კოსმოსურ სივრცეს ახასიათებს, როგორც საცხოვრისი გარემოს: ეს არის აიროვანი გარემოს გაიშვიათების ანუ ვაკუმის მაღალი ხარისხი; მაიონირებული კოსმოსური გამოსხივება; სითბოგამტარებლობის თავისებურებები; მეტეორული ნივთიერებების არსებობა და სხვა. მეორე ჯგუფი აერთიანებს საფრენოსნო აპარატების ფრენის დინამიკასთან დაკავშირებულ ფაქტორებს: აჩქარებას; ვიბრაციას; ხმაურს; უწყონობას და სხვ. ბოლოს, მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება მცირე მოცულობის ხელოვნურ ჰერმეტიკულ ნაგებობასთან დაკავშირებული ფაქტორები: სათავსოს თავისებური აიროვანი და ტემპერატურული რეჟიმი; იზოლაცია; ემოციური დამაბულობა, ბიოლოგიური რითმების

ცვლილება და ა.შ. ეს ფაქტორები კომპლექსურ გავლენას ახდენენ ცოცხალ ორგანიზმებზე და მათ შორის ადამიანზე, რომლებთან დაკავშირებითაც უდავოდ დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობისაა თითოეული მათგანის მამოდიფიცირებული გავლენის შესწავლა.

ამ ფაქტორთაგან განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება გაიშვიათებული გარემოში ანუ ვაკუუმში ადამიანის ან სხვა ცოცხალი ორგანიზმის მოხვედრას. დაბალი წნევისა და ებუდიზმის (ბუშტუკების წარმოშობა სხეულში გარეგანი წნევის გადაცემისას) შემდეგ მიმდინარეობს ვაკუუმური გარემოს შემდეგი სახის ზემოქმედებები [2]: „ცნობიერება შეიძლება შენარჩუნდეს 9-11 წამის განავლობაში. ამის შემდეგ მალე იწყება დამბლის პროცესი, რომელიც იცვლება საერთო კრუნჩხვებით და შემდეგ კვლავ ხორციელდება ორგანიზმის დადამბლავება. ამავე დროს მიმდინარეობს წყლის ორთქლის სწრაფი წარმოქმნა რბილ ქსოვილებში და რამდენადმე ნელა ვენურ სისხლში. წყლის ორთქლის წარმოშობა აღინიშნება, როგორც ორგანიზმის გაბერვა–გასივება შესაძლოა ორჯერ და მეტად ნორმალურ მოცულებებთან შედარებით, თუ დროზე არ მოვახდენთ ამ პროცესის გადატვირთვას საწინააღმდეგო კოსტუმების მეშვეობით.

არტერიული წნევაც დაეცემა 30-60 წამის განმავლობაში, ხოლო ვენური წნევა გაიზრდება აირთა ორთქლით ვენური სისტემის გაფართოების გამო. ერთი წუთის განმავლობაში ვენური წნევა გადააჭარბებს არტერიულს. პრაქტიკულად შეწყდება სისხლის ეფექტური ცირკულაცია. დეკომპრესიის დროს ფილტვებიდან აირის საწყისი გამოსვლის შემდეგ წყლის ორთქლი და აირი განაგრძობს გამოდინებას სასუნთქი გზების მეშვეობით. წყლის ასეთი მუდმივი აორთქლება გამოიწვევს პირისა და ცხვირის გაცივებას თითქმის გაყინვის ტემპერატურამდე. სხეულის დანარჩენი ნაწილიც, ასევე დაიწყებს გაცივებას, მაგრამ უფრო ნელა.

როგორც კუკი და ბანკროფტი იტყობინებიან [2] ფიზიკური ვაკუუმის მახლობელ პირობებში ხდება ცხოველთა დაღუპვა გულის ფიბრილაციის შედეგად ამ პირობებში მოხვედრის პირველ წუთებში. მაგრამ, ცხოველები, როგორც წესი უძლებდნენ თუ წნევის აღდგენა ხდებოდა დაახლოებით 90 წამის განმავლობაში. გულის გაჩერების შემდეგ შეუქცევად დგებოდა სიკვდილი მიუხედავად რეანიმაციული პროცესების გაგრძელებისა.

რეკომპრესიის (წნევის ნორმულ სიდიდემდე დაბრუნება) შემდეგ სუნთქვა იწყებოდა სპონტანურად. ჩვეულებრივ მოვლენას წარმოადგენდა ნევროლოგიური პრობლემები, დაბრმავებისა და მხედველობის სხვა დეფექტების ჩათვლით, მაგრამ, როგორც წესი, ისინი საკმაოდ სწრაფად ქრებიან.

ნაკლებ ალბათურია, რომ ადამიანმა ვაკუუმის პირობებში მოხვედრისას შეძლოს დამოუკიდებლად გადარჩენა 5-10 წამის განმავლობაში. მაგრამ თუ სასწრაფო დახმარება მოუსწრებს, მიუხედავად შინაგანი და გარეგანი სერიოზული დაზიანებებისა, წნევის 60-90 წამის განავლობაში 200მმ ვერცხლისწყლის სვეტამდე დეკომპრესიის დროს შესაძლებელია „გაცოცხლება“ და ძირითადი ფუნქციების საკმაოდ სწრაფად აღდგენა.

შევნიშნოთ, რომ აქ განიხილება მხოლოდ ვაკუუმის ზემოქმედებასთან დაკავშირებული ეფექტები. დეკომპრესიას თავისთავად შეიძლება გააჩნდეს კატასტროფული შედე-

გები, თუ მასში მოხვედრილი პირი შეეცდება სუნთქვის შეკავებას. ეს გამოიწვევს, ფილტვების გაგლეჯას და გარდაუვალ სიკვდილს. სწორედ ამიტომაც ასეთ დეკომპრესიას უწოდებენ აფეთქებას.

სავიაციო მედიცინაში არსებობს დიდი საინფორმაციო მასალა იმის შესახებ რამდენ ხანს შეიძლება იყოს ადამიანი ვაკუუმში ცნობიერ მდგომარეობაში. აქ განმარტებულია „სასარგებლო ცნობიერების დრო“ („time of useful consciousness“), ე.ი. დროის ის პერიოდი დეკომპრესიის შემდეგ, რომლის განმავლობაშიც პილოტი შეძლებს მიიღოს აქტიური ზომები საკუთარი სიცოცხლის გადასარჩენად. 15კმ–ზე მაღლა სასარგებლო ცნობიერების დრო შეადგენს 3-12 წამს. ეს დრო 18 კმ–ზე მაღლა 12 წამია. ეს უფრო ხანგრძლივი დრო იმიტომ მიიღება, რომ სამხედრო საჰაერო ძალების მფრინავები უფრო მეტად ნავარჯიშებია მაღლივი ფრენებისათვის და ამის გამო შეუძლიათ საკუთარი დროის უფრო ეფექტურად გამოყენება.

დეკომპრესიის სწრაფი, ან აფეთქებითი, პროცესი ამ დროს ორჯერ ამცირებს, რაც დაკავშირებულია შიშთან, ხოლო ადრენალინის გამოყოფა აჩქარებს ჟანგბადის წვის დროს.

ჩ. ჰარდინგი თავის ნაშრომში [4] „გადარჩენა კოსმოსში“ (Survival in space) აზუსტებს, რომ 13,7 კმ–ზე მაღლა უგონო მდგომარეობა იწყება 15-20 წამის განმავლობაში, ხოლო სიკვდილი დგება ოთხი წუთის შემდეგ ან უფრო გვიან. მაიმუნები და ძაღლები წარმატებით გამოვიდნენ ვაკუუმური მდგომარეობიდან ზემოქმედებისაგან დაუცველობის დროს.

ასტროკოსმონავტებში, მფრინავებში, მყვინთავებში დეკომპრესირებული დაავადების განვითარებას, რომელიც ორგანიზმში დგება ბარომეტრული წნევის სწრაფი ცვლილებით, განსაზღვრავს პრინციპულად ზოგადი ბიოფიზიკური პროცესები. ყველაზე უფრო გავრცელებულია აეროემბოლური თეორია, რომლის მეცნიერულ საფუძველს წარმოადგენს გარემოს წნევის მკვეთრი შემცირებისას ორგანიზმის სისხლში და ქსოვილებში აიროვანი ბუშტუკების საიმედოდ დადგენილი ფაქტები. ბუშტუკები წარმოიქმნება აზოტის ინერტული აირიდან გახსნილიდან თავისუფალში გადასვლის შედეგად. აიროვანი ემბოლიის განვითარებაში მონაწილეობენ ორგანიზმის სხვა აირებიც – ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი, რომლებიც დიფუზიის შედეგად აღწევენ აიროვან ბუშტუკებში. ჟანგბადი უკავშირდება სისხლის ჰემოგლობინს და გამოირიცხება ბუშტუკების წარმოშობის პროცესიდან. ნახშირორჟანგი, რომლის რაოდენობაც ფიზიკური დატვირთვის დროს მკვეთრად იზრდება, შეიძლება მონაწილეობდეს არა მარტო აიროვანი ბუშტუკების ჩამოყალიბებაში, არამედ გვევლინებოდეს მის პირველწყაროდ.

ატმოსფერული წნევის შემცირებისას (ჰაერის გაიშვიათება, ვაკუუმის ხარისხის გაზრდა) წონასწორობა ატმოსფეროსა ორგანიზმის აირებს შორის ირღვევა, N₂-ის რაოდენობა ჩასუნთქულ ჰაერში ხდება უფრო ნაკლები, ვიდრე ორგანიზმის სითხეებში და ქსოვილებში. ხორციელდება ორგანიზმის აზოტით გადაჯერება ანუ იქმნება ისეთი პირობები, რომლებიც ამსუბუქებენ აზოტის გადასვლას გახსნილიდან აიროვან მდგომარეობაში. ნელი დეკომპრესიის დროს აზოტი ტოვებს ორგანიზმს ფილტვების მეშვეობით და ისევ მყარდება აიროვანი მდგომარეობა ორგანიზმსა და გარემოს შორის. სწრაფი დეკომპრესაციის პირობებში იგივე პროცესი ხორციელდება სისხლში და ქსოვილებში აირის ბუშტუკების

მასიური წარმოქმნის მეშვეობით, რაც საბოლოოდ იწვევს დეკომპრესიულ დაავადებათა სიმპტომებს.

ცოცხალ ორგანიზმებში სისხლი იმყოფება უფრო მაღალი წნევის პირობებში, ვიდრე გარემოში. ჩვეულებრივ სისხლის წნევა ნორმალურ პირობებში ორგანიზმში შეადგენს 75/120 მმ.ვწყ.სვ. „75“ ნიშნავს, რომ გულის ორ ცემას შორის, სისხლი იმყოფება დაახლოებით 100 მზარი წნევის ქვეშ, რაც აღემატება გარეგან წნევას. თუ გარეგანი წნევა ნულს მიუახლოვდება სისხლის 100 მზარი წნევის დროს წყლის დუდილის ტემპერატურა 46°C იქნება, რაც საგრძნობლად მაღალია სხეულის ტემპერატურაზე ($\sim 37^{\circ}\text{C}$). სისხლი ამ დროს არ ადუღდება, იმიტომ რომ სისხლძარღვთა კედლების ელასტიურობა განაპირობებს იმდენად მაღალ წნევას, რომ დუდილის ტემპერატურა მაღალი დარჩება სხეულის ტემპერატურაზე მანამ, სანამ გაგრძელდება გულისცემა. თუ ვიქნებით უფრო ზუსტი, მაშინ შეიძლება ვთქვათ, რომ სისხლის წნევა შეიცვლება იმის მიხედვით, თუ ორგანიზმის რომელ ნაწილში იზომება ის. ამიტომ ზემოთ თქმული უნდა გავიგოთ როგორც განზოგადოებული. მაგრამ ლოკალიზებული ორთქლის მცირე კერების წარმოქმნის გამო იქ წნევა გაიზრდება. იმ ადგილებში, სადაც სისხლის წნევა დაბალია, ორთქლის წნევა გაიზრდება მანამ, სანამ არ მიიღწევა წონასწორობა. საბოლოოდ საერთო წნევა ერთნაირი იქნება.

ერთი შეხედვით ვაკუუმში მოხვედრილი ადამიანი უნდა გაიყინოს. მაგრამ ეს არ იქნება სწორი, რამდენადაც ვაკუუმში არაა ტემპერატურა. ნივთიერების ნარჩენი ნაწილაკები არასაკმარისია იმისათვის, რომ გამოვლინდეს ტემპერატურის ეფექტი. ვაკუუმი (შორეული კოსმოსი) არც „ცივია“ და „არც ცხელი“. ის „არანაირია“.

მაგრამ კოსმოსის ვაკუუმურ გარემოში სკაფანდრის გარეშე მოხვედრისას, ჩვენი კანი შეიგრძნობს მსუბუქ აცივებას. ეს მოხდება იმის გამო, რომ წყალი დაიწყებს აორთქლებას კანის ზედაპირიდან. მაგრამ ადამიანი მაინც არ გაიყინება მყარ მდგომარეობამდე.

ბუმტუკების წარმომქნელი პირობები უფრო ხელსაყრელია ორგანიზმის თხევად გარემოში, კერძოდ, კი ვენურ სისხლში, სადაც წნევა ატმოსფერულის ტოლია, ან ნაკლები, ვიდრე ქსოვილებში, რომელთაც გააჩნიათ დრეკადობა და წინაარმდეგობას უწევენ ბუმტუკების ზრდას. ისინი ვენური სისხლისა და ლიმფების დინებასთან ერთად ხვდებიან სისხლის მიმოქცევის მცირე წრის სისტემაში, არღვევენ ორგანიზმის გარეგან აირთა ცვლას და იწვევენ ასფიქსიის არაკომპენსირებულ მდგომარეობას.

ქსოვილებში წარმოქმნილი ბუმტუკები გროვდებიან ფხვიერ ბადურაში მოქმედი სახსრების და კუნთების მახლობლად, სადაც მათი პირიქით განვითარების პირობები ნაკლებ ხელსაყრელია, ვიდრე სისხლში. ისინი მექანიკურად აღიზიანებენ ნერვულ დაბოლოებებს და იწვევენ ტკივილს.

ბუმტუკებზე ორგანიზმის რეაქციები ვითარდებიან სისხლში და ლიმფაში უცხო აიროვან ზედაპირზე მიმდინარე პროცესების პრინციპების მიხედვით. სისხლში ბუმტუკები იფარებიან ცილისა და ცხიმის ფრაქციების გარსებით, რომელზეც ეწებებიან თრომბოციტები, რომელთა აგრეგაცია იწვევს კაპილარებისა და ლიმფური სისხლძარღვების მიკროთრომბოზებს.

პირველ რიგში ავადდებიან ფილტვების კაპილარები და მიმდინარე ქსოვილები.

ვაკუუმური დეკომპრესირებული ავადმყოფობის პროფილაქტიკის ღონისძიებები დაფუძნებულია ორგანიზმის დეაზოტიზაციაზე, რომელიც ხორციელდება ჟანგბადის ხანგრძლივი სუნთქვის, დაბალი წნევის აიროვანი გარემოს გამოყენების, აიროვან გარემოში აზოტის ჰელიუმით შეცვლისა და სხვა გზებით. კოსმოსური ფრენის სპეციფიკა მოითხოვს ვაკუუმის დეკომპრესირებული ავადმყოფობის მაღალეფექტურ პროფილაქტიკას.

ამჟამად არსებობს ვაკუუმური კოსმოსური დაავადების პროფილაქტიკის სხვადასხვა ვარიანტები, რომლებიც ხომალდის გარეთ 3-6 საათით სკაფანდრებში მუშაობის საშუალებას იძლევიან.

ამერიკის შეერთებულ შტატებში „სპეის შატლის“ კოსმოსური ხომალდის ასტრონავტების სკაფანდრების გამოცდისას გამომცდელი (ეკიპაჟის მომავალი წევრი) სკაფანდრის ჩაცმამდე 3 საათის განმავლობაში ბაროკამერაში ატმოსფერული წნევის დროს ატარებდა სუნთქვას ჟანგბადით. მასში წნევა თანდათან მცირდება 255 მმ.ვწ.სვეტ.–მდე. გამომცდელი სუნთქვას იწყებს სკაფანდრიდან. შემდეგ ბაროკამერაში იქმნება შედარებით მაღალი ხარისხის ვაკუუმი. სკაფანდარში ნარჩუნდება ჟანგბადის წნევა 180 მმ.ვწ. სვეტი (24 კპა)–ის დონეზე. გამომცდელი ასრულებს საშუალო სიმძიმის ფიზიკურ სამუშაოს. ვაკუუმური გავლენები ასეთ ცდებში თითქმის არ არსებობს.

ვაკუუმური დეკომპრესირებული ავადმყოფობის ყველაზე ეფექტურ მკურნალობას წარმოადგენს ე.წ. რეკომპრესიის მეთოდი. მძიმე შემთხვევებში, როდესაც დაიკვირვება ჰიპოვოდეμία და ჰიპოტომია, რეკომენდირებულია ისეთი პრეპარატები, რომლებიც ბლოკირებას უკეთებენ ქსოვილებისა და სისხლძარღვების დასნებოვნების მექანიზმებს.

შემთხვევა, რომელიც აღწერილია ე. ჰოსის ნაშრომში [5], შეეხება სკაფანდრებით აღჭურვილი სუბიექტების ქცევებს სწრაფი (აფეთქებითი) დეკომპრესიის შემთხვევაში. ძირითადი ყურადღება ექცევა ზემოქმედებას, მაგრამ მიუხედავად ამისა ნაშრომში წარმოდგენილია, სხვა უამრავი შედეგიც.

1966 წელს NASA-ს ტექნიკოსი ჰიუსტონში მოექცა დეკომპრესიაში კოსმოსური ვაკუუმის მდგომარეობამდე. ტექნიკოსმა დაკარგა გონება 12-15 წამის შემდეგ. როცა დაახლოებით 30 წამის შემდეგ წნევა აღდგა ის გონს მოეგო, ისე რომ ორგანიზმს რაიმე ზიანი არ მოსვლია.

სანამ გავაკეთებდეთ დასკვნას იმის შესახებ, რომ კოსმოსში ყოფნას არანაირი ზიანი არ მოაქვს, უნდა აღინიშნოს, რომ [5] ნაშრომში ჰოსი აღნიშნავს, აფეთქებითი დეკომპრესიის მსხვერპლის შესახებ: „მყისვე სწრაფი დეკომპრესიის შედეგად, აღინიშნა ტექნიკოსის ზომიერი ხველა, შემდეგ მან დაიწყო გონების დაკარგვა, ის საერთოდ მოდუნდა, არ ინძრეოდა და არ რეაგირებდა არცერთ გამაღიზიანებელზე 2-3 წუთის განმავლობაში. დაუყონებლივ დაუწყეს ხელოვნური სუნთქვის პროცედურა. პაციენტმა ამოისუნთქა სპონტანურად. ატმოსფერული წნევის მიღწევისას მან გააკეთა რამდენიმე ამოსუნთქვა. ისინი იყო ძალზე არარეგულარული.“

ძირითადი პათოლოგიური ცვლილებები დაკავშირებულია ხუთვასთან. ითვლება, რომ სიკვდილის ძირითადი მიზეზი შეიძლება იყოს მწვავე გულსისხლძარღვთა და სასუნთქი გზების უკმარისობა, ხოლო მეორადი მიზეზი – ორმხრივი პნევნომოტორაქსი.

საავიაციო ლიტერატურაში აღნიშნულია ბევრი სხვა შემთხვევა დეკომპრესიის შედეგად სიკვდილის შესახებ. მათ შორის ერთ-ერთი კოსმოსური ინციდენტი მოხდა ხომალდ „სოიუზ -11“ დამშვები კაპსულის დეკომპრესიის შედეგად 1971წ. ამ ავარიის ანალიზი აღწერილია შალერის წიგნში [6].

რაც შეეხება სხეულის ნაწილებზე ვაკუუმის ზემოქმედებას აქ მასალები გაცილებით ნაკლებია. 1960 წელს საჰაერო ზონდიდან მაღლივი ფრენის დროს ადგილი ჰქონდა სხეულის ნაწილებზე ვაკუუმურ ზემოქმედებას. კერძოდ, 34,4 კმ. სიმაღლეზე არაჰერმეტიკულ გონდოლში ჯო კიტინგერის წნევამ საგრძნობლად მოიკლო. მიუხედავად ამისა მან განაგრძო ფრენა, თუმცა მარჯვენა ხელში გრძნობდა ძლიერ ტკივილს და ვერ ამოძრავებდა მას. მას შემდეგ, რაც ის დაბრუნდა დედამიწაზე მისი ხელის მდგომარეობა ნორმალური გახდა.

გ. ბენეტი ერთ-ერთ სამეცნიერო კონფერენციაზე „science space“ აღწერს რეალურ კოსმოსურ ინციდენტს: „ჩვენ გვქონდა ერთი შემთხვევა „მატლებზე“ ფრენისას სკაფანდრის გახვრეტისა და ხელის დაზიანების შესახებ. ამ დროს არ მომხდარა ფეთქებადი დეკომპრესია, მხოლოდ წარმოიშვა 3 მმ დიამეტრის მცირე ხვრელი. მაგრამ ეს იყო ძალზე საინტერესო, რამდენადაც ეს იყო პირველი ტრამვა, რომელიც ოდესმე ყოფილა სკაფანდრის დაზიანებისას. როგორი გასაკვირიც არ უნდა იყოს, ასტრონავტმა არც კი იცოდა, რომ მოხდა სკაფანდრის გახვრეტა. ის სხვა მიზეზების გამო იმდენად გაჟღენთილი იყო ადრენალინით, რომ მხოლოდ ფრენიდან დაბრუნების შემდეგ შეამჩნია ხელზე მტკივნეული წითელი ლაქა. ის ფიქრობდა, რომ ხელთათმანმა მას უბრალოდ გაუხეხა ხელი და არც განუცდია ეს. სინამდვილეში ლითონის ფირფიტამ გახვრეტა ხელთათმანი, ასტრონავტის ხელის ტყავმა ნაწილობრივ ამოგმანა ნახვრეტი. მისმა სისხლმა გაჟონა კოსმოსში და მყისვე მისმა შედეგებულმა სისხლმა იმდენად დაგმანა ნახვრეტი, რომ დარჩა ხვრელის შიგნით.

ამ ნაშრომში ძირითადად საუბარია ადამიანზე და სხვა ცოცხალ ორგანიზმებზე ვაკუუმის ზემოქმედების შესახებ. მაგრამ ზოგადად ვაკუუმის ზემოქმედება უნდა მოიცავდეს სწრაფ დეკომპრესიასაც. მას ჩვეულებრივ ფეთქებად დეკომპრესიასაც უწოდებენ და სხეულზე ვაკუუმის უბრალო ზემოქმედებისაგან განსხვავებით, ფეთქებადი დეკომპრესიის მოვლენა თავისთავად ძალზე საშიშია. ფეთქებადი დეკომპრესია უფრო ძლიერად გამოვლინდება თუ მის ქვეშ მოხვდებილი სუბიექტი შეეცდება ამ დროს სუნთქვის შეკავებას.

აშშ-ს სამხედრო – საჰაერო ძალების მფრინავი ექიმის კითხვარში (The USA Flight surgeon's Guide) ფიშერი აღნიშნავს შემდეგი ტიპის შედეგებს, რომლებიც გამოწვეულია აირების გაფართოებით დეკომპრესიის დროს.

სწრაფი დეკომპრესიის დროს ერთ-ერთი ყველაზე მოსალოდნელი პრობლემაა სხეულის სიღრუბში არსებული აირების გაფართოება. მუცლის ღრუს აშლილობა სწრაფი დეკომპრესიის დროს, როგორც წესი, ძლიერად არ განსხვავდება ნელი დეკომპრესიის დროს მიმდინარე პროცესებისაგან. მიუხედავად ამისა, მუცლის ღრუს აშლილობამ შეიძლება განაპირობოს არსებითი გამწვავებები. კუჭში არსებული აირების გაფართოების გამო დიაფრაგმა გადაადგილდება ზემოთ, რაც ხელს უშლის სასუნთქებს. მუცლის ღრუს ორგანოების აშლილობამ შეიძლება იმოქმედოს მოხეტიალე ნერვის მორჩზე, რაც შეიძლება გახდეს

გულ-სისხლძარღვთა დეპრესიის მიზეზი, ხოლო სერიოზულ შემთხვევაში არტერიული წნევის ვარდნაც განაპირობოს, ადამიანი გონის დაკარგვამდე და შოკამდეც კი მივიდეს. ჩვეულებრივ, მუცლის ღრუს შიგა აშლილობა სწრაფი დეკომპრესიის შემდეგ შეიძლება გაქრეს, როგორც კი გარეთ გამოვა ჭარბი დაგროვებული აირი.

იმის გამო, რომ ფილტვებში, როგორც წესი შედის ჰაერის შედარებით დიდი რაოდენობა, მათი ქსოვილის დელიკატური სტრუქტურისა და რთული ალვეოლური სისტემის არსებობის გამო ითვლება, რომ ფილტვები წარმოადგენენ სხეულის ყველაზე უფრო სათუთ ნაწილს სწრაფი დეკომპრესიის პირობებში. ამ შემთხვევაში ჭარბი წნევა იზრდება უფრო სწრაფად, ვიდრე ფილტვები დააკომპენსირებს მას, რომლის შედეგადაც ფილტვების წნევა იზრდება. თუ ფილტვებიდან ჰაერის გამოსვლის გზები მთლიანად ან ნაწილობრივად დაბლოკილი, მაშინ კაბინაში წნევის მოულოდნელი ვარდნის გამო არსებობს მაღალი წნევის წარმოშობის საშიშროება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ფილტვებისა და მკერდის უჯრედების მეტისმეტად გაფართოება.

თუ სასუნთქი გზები ღიაა, მაშინ სწრაფი დეკომპრესიის შედეგად არანაირი სერიოზული ტრამვა არ ხდება. თუკი ფილტვების გასასვლელი გზები დაბლოკილი, მაშინ ჟანგბადის ნიღბის დროსაც კი შედეგები იქნება კატასტროფული. ამ შემთხვევაში ფილტვებში არსებული ჰაერი დეკომპრესიის დროს გარეთ ვერ გამოვა, რის გამოც ფილტვები და გულმკერდის ჰაერი გაფართოვდება ძალზე მაღალი შიგაფილტვური წნევის გამო, რასაც მოჰყვება ფილტვების ქსოვილებისა და კაპილარების გახეთქვა. შიგნით არსებული ჰაერი ფილტვების სკდომის შემდეგ აღწევს გულმკერდის უჯრედში და სისხლძარღვების კედლებში წარმოქმნილი ნაპრალების მეშვეობით ხვდება სისხლის მიმოქცევის სისტემაში. საჰაერო ბუშტულები დიდი რაოდენობით ვრცელდებიან მთელ ორგანიზმში და აღმოჩნდებიან ისეთ სიცოცხლისათვის მნიშვნელოვან ორგანოებში, როგორიცაა გული და ტვინი.

ამ ჰაეროვანი ბუშტულების მოძრაობა ჰგავს ჰაეროვან ემბოლიას, რომლებიც წარმოქმნებათ აკვალანგისტებს წყალქვეშა ნავების ავარიული გადარჩენის დროს, როცა ადამიანი ამოდის სიღრმიდან შეკავებული სუნთქვის პირობებში. ადამიანის ფილტვები ისეა მოწყობილი, რომ სუნთქვის ხანმოკლე შეკავება, არ ქმნის ფილტვებში გაჭიმვის სიმპტომის ზღვრულზე მეტ წნევას.

შედარებით მაღალ სიმაღლეზე ასვლისას იზრდება დეკომპრესიული დაავადების ალბათობა. კაბინის ჰერმეტიზაციის დარღვევის შემდეგ მასში მყოფი ასტროკოსმონავტები მყისვე ექცევიან სწრაფი (ფეთქებადი) დეკომპრესიის ქვეშ, ხოლო შემდგომი ჰიპოქსიის (ჟანგბადის შიმშილის) საშიშროება, სიმაღლის მატებისას, სულ უფრო მეტად სერიოზული ხდება. კაბინაში წნევის დაცემის შემდეგ გონის დაკარგვამდე დრო მცირდება იმის გამო, რომ ჟანგბადი ვენური სისხლიდან გადადის ფილტვებში. ჰიპოქსია ყველაზე დიდი პრობლემაა დეკომპრესიის შემდეგ.

დეკომპრესიის მომდევნო პროცესში დაიკვირვება შემდეგი ნიშნები:

1. მკვეთრი, „ფეთქებადმსგავსი“ ხმაური. ორი სხვადასხვა ჰაერის მასის შეჯახების დროს წარმოიშობა ძლიერი ხმაური. სწორედ ამ ფეთქებადმსგავსი ხმაურის გამო ხშირად იხმარება ტერმინი „ფეთქებადი დეკომპრესია“ სწრაფი დეკომპრესიის აღსაწერად.

2. მფრინავი ნაგავი. დეკომპრესიის დროს საფრენოსნო აპარატის კაბინიდან ჰაერის სწრაფი გამოდინების პროცესი იმდენად დიდია, რომ ამ კაბინაში არსებული დაუმარგებელი საგნები წნევის ძალით შეიწოვებიან. წარმოშობილი ნახვრეტები და სხვა მსგავსი საგნები გარეთ გამოიტყორცნებიან ამ ნახვრეტის გავლით. ტალახი და მტვერი გარკვეული დროის მანძილზე აუარესებენ ხილვადობას.

3. ნისლი. ჰაერს ნებისმიერი ტემპერატურისა და წნევის დროს გააჩნია უნარი შეაკავოს წყლის ორთქლის გარკვეული რაოდენობა. ტემპერატურისა და წნევის მკვეთრი ცვლილება აქვეითებენ ჰაერის უნარს, წყლის ორთქლის შეუკავებლობა შეიმჩნევა ნისლის სახით. ეს ნისლი სწრაფად განიბნევა. თუ სალონი უფრო მსხვილი კოსმოსური საფრენოსნო აპარატისაა, ნისლი განიბნევა უფრო ნელა.

4. ტემპერატურა. ჩვეულებრივ ფრენის დროს კაბინაში ტემპერატურა შენარჩუნებულია კომფორტაბელობის დონეზე. მაგრამ სიმაღლის ზრდისას ბორტს გარეთ ტემპერატურა ეცემა. დეკომპრესიის შემთხვევაში სალონის ტემპერატურა სწრაფად ეცემა. თუ ასტრონავტს ან კოსმონავტს არ გააჩნია შესაბამისი დამცველი კოსტუმი, შეიძლება მოხდეს გადამეტციება ან მოყინვა.

დეკომპრესიის დრო დამოკიდებულია ნახვრეტის ზომაზე. სიჩქარის შესაფასებლად შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ჰაერი გამოედინება ნახვრეტიდან ბგერის სიჩქარით. რამდენადაც წნევა ეცემა ნახვრეტიდან ჰაერის გამოდინების მიხედვით, გამოდინების სიჩქარე დაახლოებით შეადგენს ბგერის სიჩქარის 60% ანუ ~200 მ/წმ ჰაერის ოთახის ტემპერატურის პირობებში, ხოლო წნევა აღიწერება ჰიგინსის განტოლებით [7]:

$$P = P_0 \exp \left[-A / (V)t \right]$$

ეს ფორმულა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ძალიან მარტივი წესი: ერთი კუბურ მეტრ მოცულობაში ერთი კვადრატული სანტიმეტრი ფართის ფართობი განაპირობებს წნევის ათჯერ შემცირებას დაახლოებით 100 წამის განმავლობაში.

ეს ძალზე მიახლოებითი შეფასებაა. დრო პირდაპირპროპორციულია მოცულობისა და უკუპროპორციულია ნახვრეტის ზომის. მაგალითად, სამი ათასი კუბმეტრის მოცულობაში ათი კვადრატული სანტიმეტრის ნახვრეტში წნევა დაეცემა ერთი ატმოსფეროდან 0,01 ატმოსფერომდე 60 ათასი წამის ანუ 17 საათის განმავლობაში. უფრო ზუსტი გათვლების დროს ეს 18 საათის ტოლი იქნება.

ამ საკითხზე ამომწურავ სამუშაოს წარმოადგენს დიმიტრიადისის მიერ გამოშვებული წიგნი „On the Decompression of a Punctured Cabin in Vacuum Flight“, რომელიც 1954 წელს დაიბეჭდა ამერიკის შეერთებულ შტატებში.

ამ ნაშრომის მონაცემების მიხედვით, როდესაც წნევა ეცემა ატმოსფერულის თითქმის ნახევრამდე (50%) ადამიანი აღმოჩნდება „კრიტუკული ჰიპოქსიის“ პროცესში ხოლო წნევის ატმოსფერულთან შედარებით თითქმის 15%-ით შემცირებისას სასარგებლო ცნობიერების დარჩენილი დრო თითქმის 9-12 წამით მცირდება, იმის მიხედვით თუ როგორი ხარისხისაა ვაკუუმი.

ამრიგად, ვაკუუმს და კერძოდ, კოსმოსურ ვაკუუმს შეუძლია მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს ადამიანზე და საერთოდ ცოცხალ ორგანიზმებზე, რომელიც მასში შედარე-

ბით ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში ყოფნისას ლეტალური შედეგებით შეიძლება დამთავრდეს.

ლიტერატურა

1. Газенко О.Г. Григорьев А.Н. Егоров А.Д. периодизация и класификация приспособительных реакции организма человека в длительных космических полетах. Механизм развития стресса. Кишинев ШТИница, 1987.
2. Parker R.V. West F.J. Bioastronautics Date Book NASASP, -3006, 1973.
3. ადეიშვილი თ., ჯიქია მ., ადეიშვილი მ. მედიცინის კოსმოგეოფიზიკური საფუძვლები. ISBN 978-9941-459-023, ქუთაისი, 2016
4. Narding R. Survival in Space. Routledge, London, 1989.
5. Hoth Em. Rapid (explosive) decompression emergencies in pressure-suited subjects. NASA, 1968.
6. Shayler D.J. Disasters and Accidents in Manned Space flight". NASA, Springer, 200 th edition, ISBN-10-1852332255, 2000.
7. Хиггинс В. Эволюция основных теоретических проблем химии. Пер. с. англ. М.:1971.

Influence of Vacaum on Humans and Animals

T. Adeishvili, N. Anasashvili, D. Chkhiridze

Summary

In this paper discussed the influence of vacuum on the humens and animals. In this case, the Astrocosmonavts loses consciousness, which is realired by epxperrling air from the lungs and due to dysfunction in our vital organs.

შავი ზღვის რეგიონული და ზღვის აუზის მასშტაბის ჰიდროფიზიკური პროცესების რიცხვითი მოდელირება

დემური დემეტრაშვილი**, ვეფხია კუხალაშვილი*, დიანა კვარაცხელია*

*ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ.
გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

აბსტრაქტი: სტატიაში წარმოდგენილია ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში შემუშავებული შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული და ზღვის აუზის მასშტაბის რიცხვითი ბაროკლინური მოდელები, რომლებსაც საფუძვლად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა. ზღვის აუზის მასშტაბის მოდელი რეალიზებულია კლიმატური მონაცემების გამოყენებით მთლიანად შავი ზღვის აუზისათვის 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო რეგიონული მოდელი, რომელიც საფუძვლად დაედო რეგიონული საზღვაო პროგნოზის სისტემას, რეალიზებულია რეალური მონაცემების გამოყენებით შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის 1 კმ გარჩევისუნარიანობით.

საკვანძო სიტყვები: რიცხვითი მოდელი, განტოლებათა სისტემა, გახლეჩის მეთოდი, ცირკულაცია