

UDC 636.082.474

SCOPUS CODE 2710

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-220-231>

ემბრიო-ინკუბატორის კამერაში ტემპერატურის სიზუსტის გაუმჯობესება ფლუქტუაციების შემცირების გზით

- გიორგი ანდრიაძე** ბიოსამედიცინო ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: andriadze.g@gtu.ge
- ზვიად ღურჭკაია** ბიოსამედიცინო ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: z.gurtskaia@gtu.ge

რეცენზენტები:

ა. კობიაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: anakobia@hotmail.com

თ. ჟორჯოლაძე, ქართულ-ამერიკული რეპროდუქციული კლინიკა „რეპროარტის“ ემბრიოლოგი

E-mail: temiko@hotmail.com

ანოტაცია. ტემპერატურა არის ერთ-ერთი პარამეტრი, რომელიც გავლენას ახდენს ემბრიონის განვითარებაზე, ამიტომ უაღრესად მნიშვნელოვანია ემბრიო-ინკუბატორში ტემპერატურის სტაბილურობის შენარჩუნება. თანამედროვე ინკუბატორებში ტემპერატურის გარკვეული სიზუსტე მიღწეულია, თუმცა ფლუქტუაციები მაინც არ არის აღმოფხვრილი. კვლევის მიზანია ტემპერატურის სიზუსტის გაუმჯობესება ფლუქტუაციების შემცირებით.

თანამედროვე ინკუბატორებში ინფრაწითელი სენსორით ტემპერატურის მართვა არ გამოიყენება. გამათბობელი ელემენტი ჩართულია სასურველი ტემპერატურის მიღწევამდე და ავტომატურად

ითიშება სასურველი მაჩვენებლის მიღწევის შემდეგ. გამათბობელი ელემენტი გათიშვის შემდეგ თბება გარკვეულ ტემპერატურამდე, გაცივებისას კი შებრუნებული პროცესი მიმდინარეობს. შეუსაბამო ტემპერატურამ შესაძლოა უარყოფითად იმოქმედოს ემბრიონზე. გამთბარ ზედაპირსა და სენსორს შორის თბოგადაცემისთვის საჭირო დრო ასევე აფერხებს რეაგირებას. ამ პროცესის უფრო ზუსტი კონტროლისთვის შემუშავდა ახალი პრინციპი, რომელიც გამათბობელი ელემენტისთვის გულისხმობს დენის მიწოდებას სხვადასხვა ტემპერატურაზე სხვადასხვა სიხშირის პულსაციით, ტემპერატურის სენსორად კი გამოიყენებულია ინფრაწითელი სენსორი, რაც თერმოწყვილსა და თერმისტორ-

თან შედარებით ტემპერატურის ცვლილებაზე უფრო სწრაფად რეაგირებს და უფრო სწრაფად აწვდის მონაცემებს მაკონტროლებელ ბლოკს. შედეგად მიღწეულ იქნა, თანამედროვე სისტემებთან შედარებით, ბევრად სტაბილური ტემპერატურა – ნაკლები ფლუქტუაციებით.

საკვანძო სიტყვები: განვიმპულსური მოდულიაცია; გრადიენტი; ემბრიო-ინკუბატორი; ემბრიონის კულტივაცია; ინ ვიტო განაყოფიერება; ინფრაწითელი სენსორი; ტემპერატურის ფლუქტუაცია.

შესავალი

ადამიანის ემბრიონებისთვის საჭირო იდეალური ტემპერატურული მაჩვენებელი კარგად შესწავლილი არ არის, მაგრამ ფიზიოლოგიური და გენეტიკური გადახრების თავიდან ასაცილებლად ემბრიოლოგების უმრავლესობა მიიჩნევს, რომ ყველანაირ ზედაპირს, ხსნარს ან დანადგარს, რომელიც შეხებაშია ემბრიონთან, უნდა ჰქონდეს $37,0^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურა. მიჩნეულია, რომ კულტივირებისთვის საუკეთესოა $37,0^{\circ}\text{C}$ -დან $37,5^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურული შუალედი [1].

ტემპერატურა ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია ემბრიო-კულტურისთვის. ინ ვიტო სხეულის შინაგანი ტემპერატურა $37,0^{\circ}\text{C}$ -ია, მაგრამ, ტემპერატურის გაზომვის მეთოდიდან გამომდინარე, ეს მნიშვნელობა შესაძლოა არ იყოს ზუსტი [2].

ადამიანის სხეულის ნორმალური ტემპერატურაა $36,5$ – $37,5^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ზღვრებში [3]. ტემპერატურის ცვლილება ასევე გავლენას ახდენს pH-ზე. თავის ემბრიონების გამოყენებით მიმდი-

ნარე კვლევაში, რომელსაც ხშირად იყენებენ ადამიანის ემბრიონების კულტივაციის პირობების შესამოწმებლად, მიტოზური დაყოფა ჩვეულებრივ უფრო ნელა მიმდინარეობს დაბალ ტემპერატურებზე, რაც ტემპერატურის მატებასთან ერთად ჩქარდება. ამ პროცესზე ტემპერატურის $0,5^{\circ}\text{C}$ -ის სხვაობას მნიშვნელოვანი გავლენის მოხდენა შეუძლია [2].

ემბრიონის განვითარება და მისი მეტაბოლური აქტივობა 5 – 10% -ით იცვლება ტემპერატურის $0,5^{\circ}\text{C}$ – $1,0^{\circ}\text{C}$ ცვლილებისას (მომატება ან დაკლება) [4].

ძირითადი ნაწილი

ინ ვიტო განაყოფიერების კლინიკების ემბრიო-ინკუბატორში მოთავსებული ემბრიონის განვითარებისთვის აუცილებელია მასზე მოქმედი სხვადასხვა პარამეტრის სიზუსტე და კონტროლი. აღნიშნული პარამეტრებიდან ერთ-ერთია ტემპერატურა. ინკუბატორებს, რომლებიც გამოიყენება ინ ვიტო განაყოფიერების კლინიკებში, შესაძლებლობა აქვს აკონტროლოს სხვადასხვა პარამეტრი, რათა არ მოხდეს მათი გადახრა მითითებული წერტილებიდან, რადგან მათი კონტროლის სიზუსტე აისახება ემბრიონის განვითარებაზე. რაც უფრო ზუსტია პარამეტრების კონტროლი და რაც უფრო ნაკლებია ფლუქტუაციები, მით უკეთესი შედეგი მიიღწევა ემბრიონის განვითარების თვალსაზრისით, ხოლო ფლუქტუაციები უარყოფით გავლენას ახდენს ემბრიონებზე [5].

კვლევის მიზანია ტემპერატურის რეგისტრაციისა და გამათბობელი სისტემის გათბობის კონტროლის ახალი, დღეისთვის ემბრიო-ინკუბატორებში გამოყენებული სისტემისგან განსხვავებული, სის-

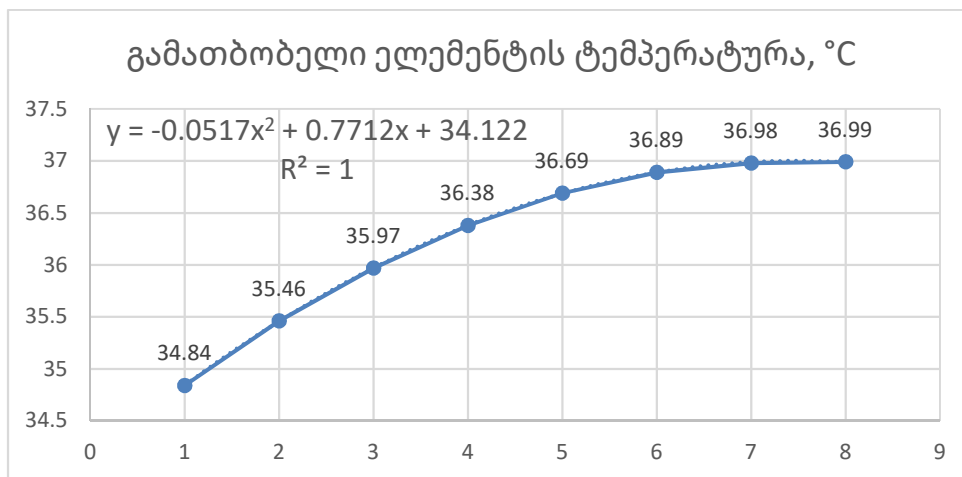
ტემის შექმნა, რომელსაც ექნება ტემპერატურული ცვლილების უფრო სწრაფი და ზუსტი დაფიქსირების უნარი, რომელიც სიგნალს გადასცემს ტემპერატურის მაკონტროლებელ ბლოკს, ხოლო გამათბობელი ელემენტი კამერას სითბოს მიაწვდის უფრო ზუსტად და ნაკლები ფლუქტუაციებით, რაც უზრუნველყოფს ინკუბატორის კამერაში სტაბილური ტემპერატურული რეჟიმის შექმნას.

მასალები და მეთოდები. ტემპერატურა კონტროლდება თანამედროვე ემბრიო-ინკუბატორებში გამოყენებულ თბოგადაცემაზე დაფუძნებული სენსორებით – თერმისტორი და თერმოწყვილი. გამათბობელი ელემენტის კვების მიწოდებისთვის გამოყენებულ იქნა ორი ტიპის ჩამრთველი – მაგნიტური რელე და ნახევარგამტარული ჩამრთველი, რომელიც ორი ველის ტრანზისტორისგან შედგება. ტემპერატურის სტაბილურობა შემოწმდა სხვადასხვა კომბინაციით: თერმისტორი – მაგნიტური რელე; თერმისტორი – ნახევარგამტარული ჩამრთველი; თერმოწყვილი – მაგნიტური რელე; თერმოწყვილი – ნახევარგამტარული ჩამრთველი. კვლევაში გამოყენებული სისტემები საჭირო იყო იმისათვის, რომ მათ მიერ მიღებული მონაცემების შედარება მომხდარიყო კვლევისთვის საგანგებოდ შექმნილი ინფრაწითელი პიროსენსორისა და ნახევარგამტარული ჩამრთველის კომბინაციის სისტემის მიერ მიღებულ მონაცემებთან. მსგავსი სისტემები ემბრიო-ინკუბატორებში არ გამოიყენება. დამატებითი ინფორმაციისთვის ასევე მოხდა ინფრაწითელი პიროსენსორის და მაგნიტური რელეს სისტემის გამოყენებაც. ნახევარგამტარულ ჩამრთველს დენი მიე-

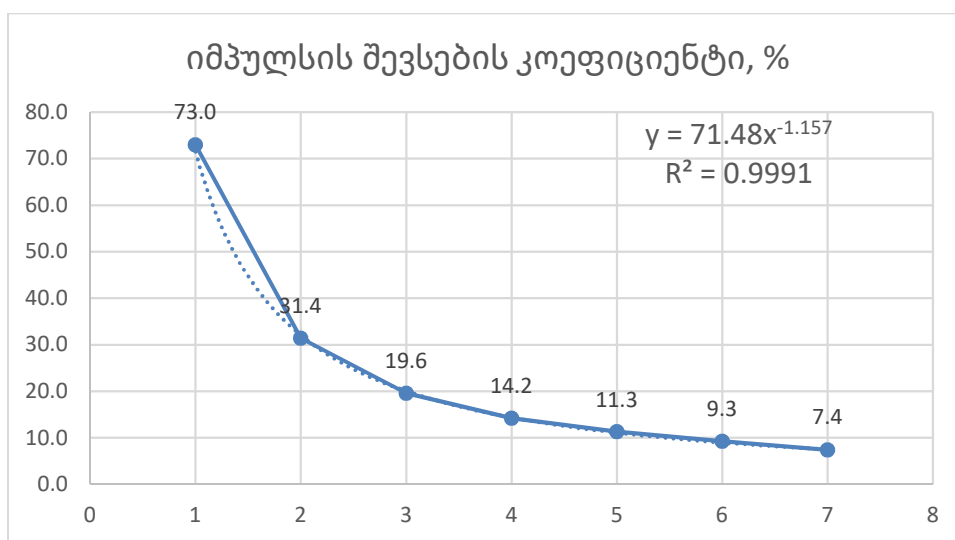
წოდა განივიმპულსური მოდულაციით და სხვადასხვა იმპულსის შევსების კოეფიციენტით, გრადიენტით – ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. საკვლევი ტემპერატურა იყო 37,00°C. თერმისტორი და თერმოწყვილი პირდაპირ კონტაქტშია გამთბარ ზედაპირთან, ხოლო არსებული სივრცე შევსებულია თერმოპასტით.

ობიექტის ტემპერატურა გაიზომა რეალურ დროში. მონაცემები იწერებოდა სისტემის ლოგერის მიერ ყოველ 3 წამში. სისტემა ასევე აღჭურვილი იყო დამატებითი სენსორით, რომელიც პარალელურად იწერდა გარემოს ტემპერატურას. თითოეული სისტემისთვის გაკეთდა 5500 ჩანაწერი, რომელშიც დაფიქსირდა ფლუქტუაციისას მიღებული ყველაზე მაღალი და დაბალი ტემპერატურის მნიშვნელობები.

ტემპერატურის სხვადასხვა მნიშვნელობის და მათი შესაბამისი მეანდრის სიგნალის იმპულსის შევსების კოეფიციენტები განისაზღვრა ექსპერიმენტულად, მრავალჯერადი გაზომვის შედეგად. ტემპერატურის მნიშვნელობები და მათი შესაბამისი იმპულსის შევსების კოეფიციენტები იმგვარად შეირჩა, რომ საკვლევ ტემპერატურაზე მიღწეულ იქნა ტემპერატურის კონტროლის სიზუსტე, დაბალი ფლუქტუაციებით. განივიმპულსური მოდულაციის სიგნალის იმპულსის შევსების კოეფიციენტები და გამათბობელ ელემენტზე მოდებული სიმძლავრეები გაიზომა Hantek 2D42 ოსცილოსკოპ-მულტიმეტრით. მოცემულ შემთხვევაში საკვლევი ტემპერატურა იყო 37,0°C. მიღებული მონაცემები დამუშავდა Excel-ის ტრენდის ხაზის ფუნქციით და შესწორდა Excel-ის მიერ გამოყვანილი ფორმულით (სურ. 1ა, 1ბ).



სურ. 1ა. ტემპერატურის მნიშვნელობების გრაფიკი, რომელზეც ხდება სიმპლაგრების ცვლილება



სურ. 1ბ. გამათბობელი ელემენტის ჩართვის გრაფიკი სხვადასხვა იმპულსის შევსების კოეფიციენტებით

მაკონტროლებელი ბლოკი ისეა დაპროგრამებული, რომ ტემპერატურის შესაბამის მნიშვნელობაზე გამათბობელს გრადიენტით მიეწოდოს შესაბამისი იმპულსის შევსების კოეფიციენტის განვიმპულსური მოდულაციის სიგნალი.

ექსპერიმენტული კამერა შედგება 1,3 მმ სისქის ალუმინის კორპუსისგან, გარემოსგან იზოლირებულია 13 მმ სისქის პოლიურეთანის ქაფ-პლასტის ფილებით, კამერის მოცულობა – 500 სმ³, ინფრა-

წითელი სენსორი განთავსებულია 10 მმ დამორებით და გარემოსგან იზოლირებულია ქაფ-პლასტით.

გამათბობელ ელემენტად გამოიყენეს 12-ვოლტიანი, 60-ვატიანი PTC გამათბობელი. გამათბობელი ელემენტის გათბობის ზედაპირის ფართობია 22,34 სმ².

გამათბობელ ელემენტზე მოდებული იყო 11,0 ვოლტი მუდმივი დენი.

გამათბობელი ელემენტის კვების წყარო – 2-ამპერიანი კვების ბლოკი KLY-2402000, 3–24 ვ რეგულირებადი პოტენციომეტრით.

მაკონტროლებლად გამოყენებულ იქნა Mega2560pro, PWM სიგნალით გამათბობელი ელემენტის ჩამრთველად კი – GA6L1K მეტალის ოქსიდის ველის ტრანზისტორების ბაზაზე მომუშავე ტრიგერი, მაგნიტური რელე – JQC-3FF-S-Z, ინფრაწითელი სენსორი – MLX90616, თერმოწყვილი – TP-01, თერმისტორის მოდელი – 55000.

მიღებული მეანდრის იმპულსის შევსების კოეფიციენტები და მათი გამოსახულება ოსცილოსკოპზე მოცემულია მე-2 სურ-ზე:

ტემპერატურა<34,84°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 73%;

ტემპერატურა<35,46°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 31.4%;

ტემპერატურა<36,97°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 19.6%;

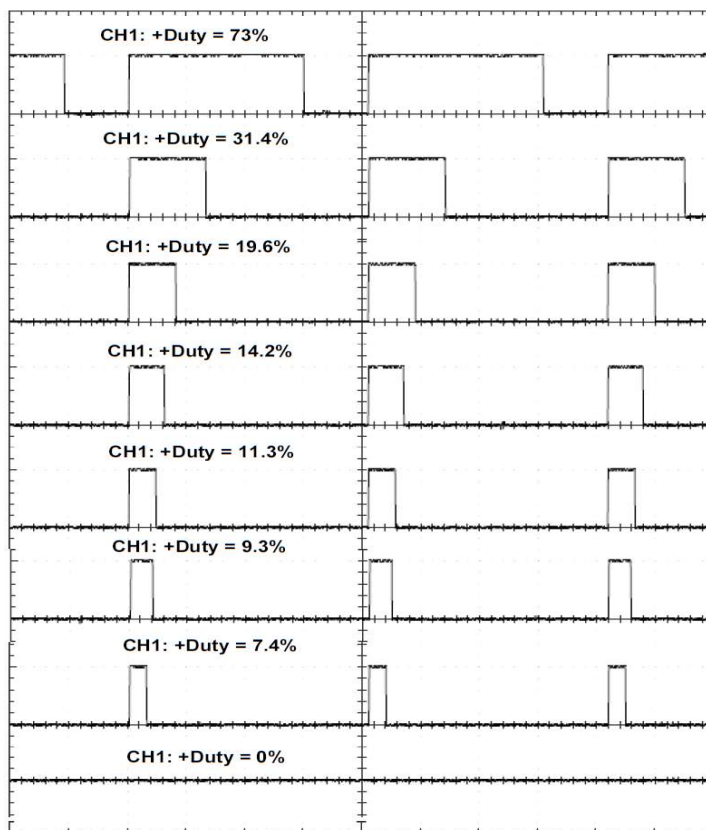
ტემპერატურა<36,38°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 14.2%;

ტემპერატურა<36,69°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 11.3%;

ტემპერატურა<36,89°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 9.3%;

ტემპერატურა<36,98°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 7.4%;

ტემპერატურა<36.99°C, PWM იმპულსის შევსების კოეფიციენტი – 0%.



სურ. 2. იმპულსის გამოსახულება სხვადასხვა შევსების კოეფიციენტის მნიშვნელობისას

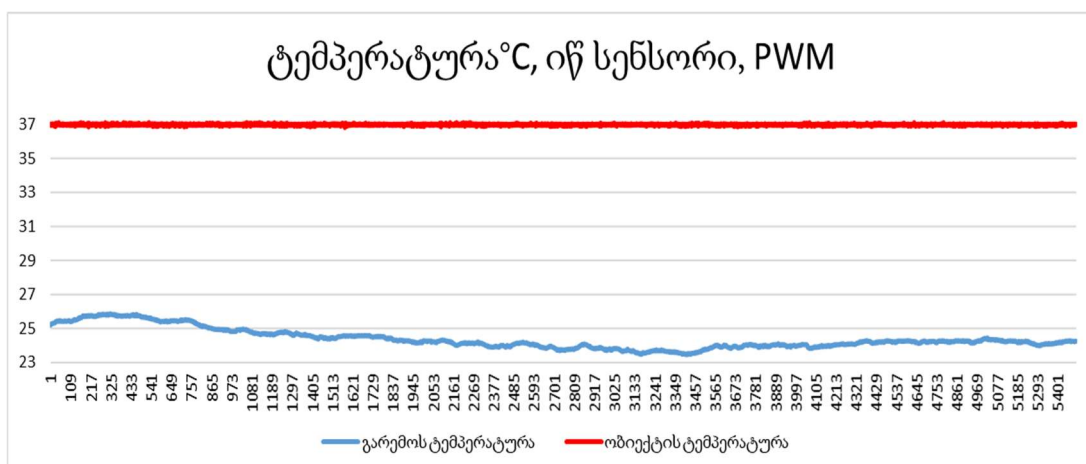
თერმისტორისა და მაგნიტური რელეს გამოყენებით აღინიშნა ყველაზე მაღალი ფლუქტუაციები როგორც 37,00°C ზემოთ, ისე მის ქვემოთ, ვიდრე თერმისტორისა და ნახევარგამტარული ჩამრთველის გამოყენების შემთხვევაში, სადაც დენის მიეწოდა განივიმპულსური მოდულაციით, გრადიენტით – ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით.

თერმოწყვილისა და მაგნიტური რელეს გამოყენებით აღინიშნა უფრო მაღალი ფლუქტუაციები, ვიდრე თერმოწყვილისა და ნახევარგამტარული ჩამრთველის გამოყენების შემთხვევაში, მაგრამ ეს იყო უფრო ნაკლები ფლუქტუაციები, ვიდრე თერმისტორის დროს. ინფრაწითელი პიროსენსორის და

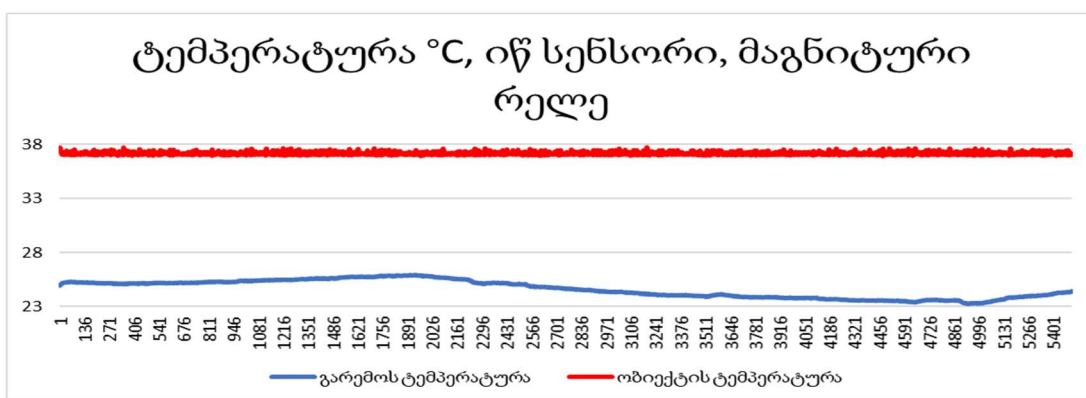
მაგნიტური რელეს შემთხვევაში უფრო მაღალი ფლუქტუაციები დაფიქსირდა, ვიდრე ნახევარგამტარული ჩამრთველის გამოყენების შემთხვევაში. ინფრაწითელი პიროსენსორის კომბინაციით ნახევარგამტარულ ჩამრთველთან, რომელიც გამათბობელ ელემენტს სიგნალს აწვდიდა განივიმპულსური მოდულაციით და გრადიენტით – ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, ყველაზე ზუსტი ტემპერატურის კონტროლი და დაბალი ფლუქტუაციები აჩვენა თერმისტორისა და თერმოწყვილთან შედარებით (ცხრილი). ობიექტის და გარემოს ტემპერატურები მოცემულია გრაფიკებზე (სურ. 3, ა, ბ, გ, დ, ე, ვ).

საკვლევი ობიექტის და გარემოს ტემპერატურები, თითოეული სენსორისთვის აღებულია 5500 წერტილი. გაზომვებს შორის ინტერვალი 3 წმ

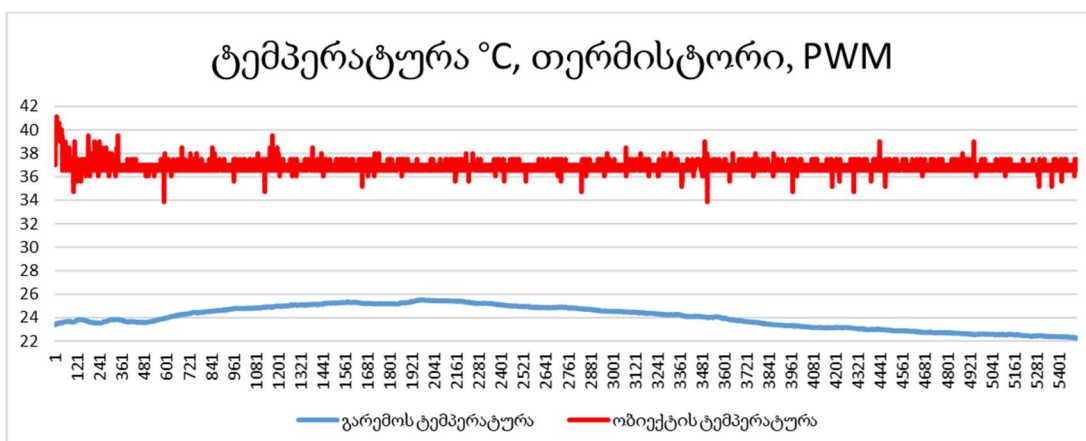
ტემპერატურის კონტროლის სისტემა	საკვლევი ობიექტის ტემპერატურა, °C			გარემოს ტემპერატურა, °C		
	საშუალო მნიშვნელობა	ფლუქტუაციის მინიმუმი	ფლუქტუაციის მაქსიმუმი	საშუალო მნიშვნელობა	ფლუქტუაციის მინიმუმი	ფლუქტუაციის მაქსიმუმი
იწ სენსორი - ნახევარგამტარული ჩამრთველი	36,98	36,81	37,11	24,37	23,45	25,87
იწ სენსორი - მაგნიტური რელე	37,16	36,89	37,71	25,93	23,23	24,63
თერმისტორი - ნახევარგამტარული ჩამრთველი	36,98	33,87	41,12	24,06	22,27	25,55
თერმისტორი - მაგნიტური რელე	38,18	34,29	41,68	24,92	23,17	26,17
თერმოწყვილი - ნახევარგამტარული ჩამრთველი	36,98	36,00	37,75	24,21	22,23	26,09
თერმოწყვილი - მაგნიტური რელე	37,75	36,50	39,25	24,62	22,81	26,25



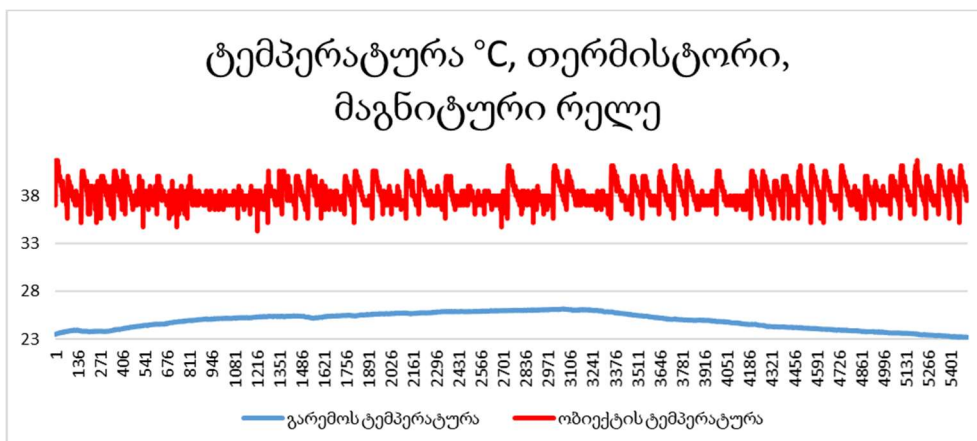
(ა)



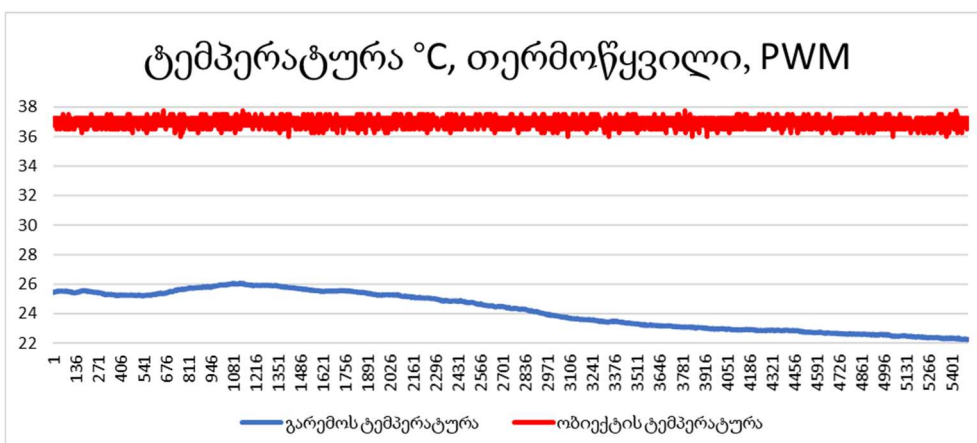
(ბ)



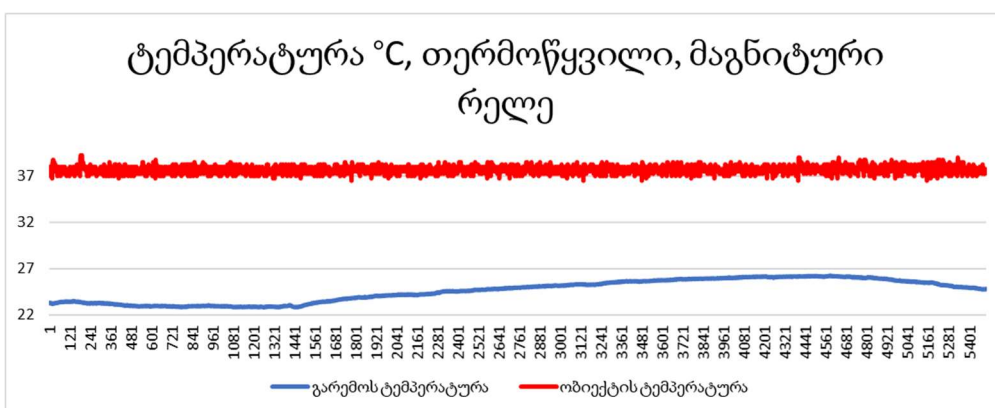
(გ)



(ა)



(ბ)



(გ)

სურ. 3. ობიექტის და გარემოს ტემპერატურების გრაფიკები

მე-3 სურ-ზე წარმოდგენილია 5500 გაზომვის შედეგად მიღებული საკვლევი ობიექტის (ზედა მრუ-

დი) და გარემოს (ქვედა მრუდი) ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკული გამოსახულება. გაზომ-

ვებს შორის ინტერვალი 3 წამს შეადგენს. (ა) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია ინფრაწითელი სენსორით; გამათბობელ ელემენტს კვება მიეწოდებოდა PWM კონტროლით. (ბ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია ინფრაწითელი სენსორით, გამათბობელი ელემენტისათვის კვების მიწოდება გაკონტროლდა მაგნიტური რელეთი. (გ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელ ელემენტს კვება მიეწოდა PWM კონტროლით. (დ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელი ელემენტისათვის კვების მიწოდება გაკონტროლდა მაგნიტური რელეთი. (ე) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელ ელემენტს კვება მიეწოდა PWM კონტროლით. (ვ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელ ელემენტს კვება მიეწოდა PWM კონტროლით. (გ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელ ელემენტს კვება მიეწოდა PWM კონტროლით. (დ) გრაფიკზე გამოსახულია საკვლევი ობიექტის ტემპერატურის ცვლილება, რომელიც გაზომილია თერმისტორით; გამათბობელი ელემენტისათვის კვების მიწოდება გაკონტროლდა მაგნიტური რელეთი.

კვლევის ჩატარების საჭიროება გამოწვეულია თანამედროვე ემბრიო-ინკუბატორებში გამოყენებული ტემპერატურის კონტროლის ხარვეზების შესასწავლად და კონტროლის გაუმჯობესებული სისტემის შესაქმნელად. ემბრიოლოგიაში არსებობს კვლევები სხვადასხვა ინკუბატორით, როდესაც ხდება ტემპერატურის და სხვა პარამეტრების გავლენის შესწავლა ემბრიონების განვითარებაზე [2, 3, 5]. საჭიროა თვით ინკუბატორების სენსორების,

მათი ტემპერატურისა და სხვა პარამეტრების კონტროლის სისტემების უფრო ღრმად შესწავლა. ინკუბატორის კამერაში ტემპერატურის გაზომვის პროცესი ხანმოკლეა და მკაფიო სურათს არ იძლევა გამათბობელი ელემენტის მიერ გამოცემული სითბოს სტაბილურობის ან ტემპერატურის სენსორის მოქმედების დროის შესახებ. ტემპერატურის მოქმედების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან სენსორის მიერ გადაცემული ტემპერატურით ხდება გამათბობელი ელემენტის ჩართვა ან გამორთვა. დაგვიანებული რეაქციის გამო, გამათბობელი ელემენტის ტემპერატურა შეიძლება ბევრად გადასცდეს მითითებული ტემპერატურის მნიშვნელობას. ასევე შეიძლება ითქვას გამათბობელ ელემენტზეც. თუ გამათბობელი ელემენტი, მაგალითად, საჭიროზე მეტ სითბოს მიაწვდის კამერას, სენსორის მიერ დროულად გადაცემული ინფორმაციის მიუხედავად, გამათბობელი ინერციით გადახურდება. მაგიდის ინკუბატორში, რომლის კამერის ანალოგი დაამზადეს და გამოიყენეს კვლევაში, ემბრიონებს აქვთ პირდაპირი კონტაქტი გამთბარ ზედაპირთან. ემბრიონი მოთავსებულია პეტრის ჯამში რამდენიმე მიკროლიტრ სპეციალურ ხსნარის წვეთში, ხოლო ზემოდან დამატებული აქვს სპეციალური ზეთი, რათა ხსნარი არ აორთქლდეს. აღნიშნული უმცირესი რაოდენობის წვეთი ძალიან მგრძობიარეა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ. ფლუქტუაციების გავლენა ემბრიონის განვითარებაზე კარგად არ არის შესწავლილი, ამიტომ სამომავლოდ საჭიროა ემბრიონის განვითარებაზე ფლუქტუაციების გავლენის შესწავლა.

როგორც კვლევამ აჩვენა, თერმოწყვილსა და თერმისტორს აქვს მაღალი ფლუქტუაციები ინფრა-

წითელ სენსორთან შედარებით, ვინაიდან თბოგადაცემა დროში შედარებით აგვიანებს. ინფრაწითელი სენსორის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი არ მუშაობს თბოგადაცემის პრინციპით და ინფრაწითელი სპექტრის გაზომვა გაცილებით სწრაფად ხდება, რაც მის სისწრაფეს განაპირობებს.

რაც შეეხება გამათბობელ ელემენტს, აღნიშნულ კვლევაში გამოყენებული ორი სახის ჩამრთველის შედარებით აშკარად გამოიკვეთა განივიმპულსური მოდულაციის სიგნალით (PWM) მართვადი ნახევარგამტარული ჩამრთველის უპირატესობა მაგნიტურ რელესთან შედარებით. ნახევარგამტარულ ჩამრთველს შეიძლება მიეწოდოს სხვადასხვა იმპულსის შევსების კოეფიციენტის მიენდრული სიგნალი და ანალოგური სიგნალის მსგავსად ეტაპობრივად დააკლდეს ან მოემატოს მიწოდებული სიგნალი, რის გამოც აღარ მოხდება ზედმეტი ენერჯის მიწოდება, როგორც ეს ხდება მაგნიტური რელეს შემთხვევაში. შესაბამისად, ნაკლებად მოხდება ზედმეტად გადახურება ან გაცივება. ეს ყოველივე ფლუქტუაციებს შეამცირებს.

ზოგიერთ ინკუბატორს აქვს მონაცემების უწყვეტ რეჟიმში ჩაწერის ფუნქცია ე. წ. ლოგერი. მათი დადებითი მხარეა მონაცემებზე დაკვირვების შესაძლებლობა და რეჟიმის დარღვევის გამოვლენა. თანამედროვე ინკუბატორები საკმაოდ დიდი სიზუსტით ხასიათდება [5], თუმცა გაკეთებულ ანათვლებს შორის ინტერვალი რამდენიმე წუთს შეადგენს და ეს მათი უარყოფითი მხარეა. აღნიშნულ კვლევაში გამოყენებულ იქნა 3-წამიანი ინტერვალი, რაც უფრო კარგი დაკვირვების შესაძლებლობას იძლეოდა.

კვლევების მიზანია ინკუბატორის გაუმჯობესებული მოდელის შექმნა, ამიტომ საჭიროა ყველა იმ

დადებითი და უარყოფითი მხარის შესწავლა, რაც თანამედროვე ინკუბატორებს აქვს. ეს კვლევა ეხება მხოლოდ ერთ კომპონენტს, რაც ტემპერატურის ფლუქტუაციების შესწავლით შემოიფარგლება. შემდეგი კვლევა უნდა ჩატარდეს გაზების მიწოდების სისტემის გაუმჯობესების მიმართულებით.

დასკვნა

ემბრიო-ინკუბატორების კამერებში გამათბობელი ელემენტის ტემპერატურის დასაფიქსირებლად ტემპერატურის სენსორი უნდა იყოს უკონტაქტო, გამთბარი სხეულის მიერ გამოსხივებულ ინფრაწითელ სპექტრზე დაფუძნებული, ვინაიდან ინფრაწითელი სენსორი სპექტრის ცვლილებაზე რეაგირებს უფრო სწრაფად, ვიდრე თბოგადაცემის შემთხვევაში – რაც უფრო სწრაფად აწვდის სიგნალს მაკონტროლებელ ბლოკს, უფრო სწრაფად ხდება რეაგირება გამახურებელი ელემენტისთვის დენის მიწოდება/გათიშვისას.

კვლევებით ასევე გამოიკვეთა თერმოწყვილის უპირატესობა თერმისტორულ სენსორთან შედარებით.

მითითებული ტემპერატურის და მისი კონტროლის სიზუსტისთვის აუცილებელია ნახევარგამტარული ჩამრთველის გამოყენება, ვინაიდან აღნიშნულ ჩამრთველს უნარი აქვს მისი ჩართვა/გამორთვისას მიწოდებული განივიმპულსური მოდულაციის სიგნალით გამათბობელი ელემენტის კვება ჩართოს და გამორტოს შესაბამისი სიხშირით და იმპულსის შევსების კოეფიციენტით. ასევე შესაძლებელია გრადიენტით გაიზარდოს და შემცირდეს იმპულსის შევსების კოეფიციენტი ტემპერატურის მატებისა და კლების მიხედვით.

მიუხედავად იმისა, რომ თანამედროვე ინკუბატორები ზუსტი დანადგარებია, მათ მცირე ხნით, მაგრამ მაინც აქვს ფლუქტუაციები, რომელმაც შესაძლოა მიაღწიოს ემბრიონისთვის სახიფათო ტემპერატურებს, რაც ასევე დადასტურდა კვლევით. ამიტომ, თანამედროვე ინკუბატორებში საჭიროა კონტაქტური სენსორებისა და მაგნიტური რელეების ჩანაცვლება უკონტაქტო სენსორით და განივიმპულსური მოდულაციის სიგნალის მაკონტროლებელი ჩამრთველით.

ლიტერატურა

1. Kimball O. Pomeroy, Michael L. Reed. pH, Temperature, and Light. Textbook of Assisted Reproduction. August 2020. 10: 683-692. DOI: 10.1007/978-981-15-2377-9_76 (In English).
2. Emily A. Walters, Jessica L. Brown, Rebecca Krisher, Steve Voelkel, Jason E. Swain. Impact of a Controlled Culture Temperature Gradient on Mouse Embryo Development and Morphokinetics. RBMO Reproductive BioMedicine Online, VOLUME 40, ISSUE 4, P494-499, APRIL 01, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2019.12.015> (In English).
3. Mohammad Shahidul Islam, Ali F., Almutairi, Gan Kok Beng, Norbahiah Misran, Nowshad Amin. Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) Based LoRa Wireless Network System. Appl. Sci. 2019, 9(9), p10. 1884; <https://doi.org/10.3390/app9091884> (In English).
4. De Munck Neelke, Janssens Ronny, Santos-Ribeiro Samuel, Tournaye Herman, Van de Velde Hilde, Verheyen Greta. The Effect of Different Temperature Conditions on Human Embryos in vitro: Two Sibling studies. RBMO Reproductive BioMedicine Online Volume 38, Issue 4, April 2019, Pages 508-515. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2018.11.020> (In English).
5. Jason E. Swain. Decisions for the IVF laboratory: Comparative Analysis of Embryo Culture Incubators. RBMO REPRODUCTIVE MEDICINE ONLINE. May 2014 Volume 28 Issue 5. p539: p531-660. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2014.01.004> (In English).

UDC 636.082.474

SCOPUS CODE 2710

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-220-231>

Improvement of Temperature Precision in Embryo-Incubator Chamber by Reducing Fluctuations

Giorgi Andriadze Department of Biomedical Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77 M. Kostava str,
E-mail: andriadze.g@gtu.ge

Zviad Gurtskaia Department of Biomedical Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77 M. Kostava str,
E-mail: z.gurtskaia@gtu.ge

Reviewers:

A. Kobiashvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: anakobia@hotmail.com

T. Zhorzholadze, Embryologist of Georgian-American Reproductive Clinic ReproART

E-mail: temiko@hotmail.com

Abstract. Temperature is one of the parameters that affects development of embryos. Therefore, it is important to keep stability of temperature in the chambers of embryo-incubators. In modern incubators, some accuracy of temperature has been achieved, although fluctuations are not eliminated yet. The aim of this research was to improve temperature accuracy by reducing of fluctuations.

In modern benchtop incubators, a heating element is switched on and automatically shuts off when the desired value is reached. The heating element continues to heat up to a certain temperature after switching off, and the reverse process takes place during cooling. Inappropriate temperature may adversely affect the embryo.

To control temperature more precisely, a new principle with infrared sensor has been developed, where power to heater is supplied with different PWM duty cycles. As the results, much more stable temperature with less fluctuations were achieved in comparison to modern systems using thermocouples and thermistors.

Key words: embryo cultivation; embryo-incubator; gradient infrared sensor; in vitro fertilization; PWM; temperature fluctuation.

UDC 636.082.474

SCOPUS CODE 2710

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-220-231>

Повышение точности температуры в камере эмбрио-инкубатора за счет уменьшения флуктуации

Георгий Андриадзе	Департамент биомедицинской инженерии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77 E-mail: andriadze.g@gtu.ge
Звиад Гурцкая	Департамент биомедицинской инженерии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77 E-mail: z.gurtskaia@gtu.ge

Рецензенты:

А. Кобиашвили, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: anakobia@hotmail.com

Т. Жоржолაძე, эмбриолог грузино-американской репродуктивной клиники „ReproART“

E-mail: temiko@hotmail.com

Аннотация. Температура – один из параметров, влияющих на развитие эмбрионов. Поэтому чрезвычайно важно сохранение стабильности температуры в камере эмбрио-инкубатора. В современных инкубаторах достигнута некоторая точность температуры, хотя флуктуации все еще не устранены. Целью исследования было повышение точности температуры за счет уменьшения флуктуации.

В современных настольных инкубаторах нагревательный элемент включается и автоматически выключается при достижении желаемого значения. Нагревательный элемент после выключения продолжает нагреваться до определенной температуры, а при охлаждении происходит обратный процесс. Несответствующая температура может негативно повлиять на эмбрион.

Для более точного контроля температуры был разработан новый принцип, который включает подачу питания на нагревательный элемент при разных температурах с разными рабочими циклами ШИМ. Инфракрасный датчик использовался для измерения температуры. В результате достигнуто гораздо более стабильная температура с меньшими флуктуациями по сравнению с современными системами, использующими термопары и термисторы.

Ключевые слова: градиент; инфракрасный датчик; культивирование эмбрионов; флуктуация температуры; ШИМ; экстракорпоральное оплодотворение; эмбрио-инкубатор.

განხილვის თარიღი 16.02.2020

შემოსვლის თარიღი 10.03.2020

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 21.07.2021