

ბიოტექნოლოგიური ინოვაციები ფარმაციაში და მედიცინაში

ინოვაციური ტექნოლოგიები ფარმაციაში: გამოწვევები და შესაძლებლობები

ნანა შაშიაშვილი

სტუს-ს ასოცირებული პროფესორი

თამარ ცინცაძე

სტუს-ს პროფესორი

ილია გველესიანი

სტუს-ს პროფესორი

მარიამ ნიშნიანიძე

სტუს-ს ასისტენტ პროფესორი

რეზიუმე

ინოვაციური ტექნოლოგიების ინტეგრაცია მნიშვნელოვნად ცვლის ფარმაცევტულ სფეროს — დაწყებული კვლევისა და განვითარების ეტაპიდან, დასრულებული პაციენტზე ორიენტირებული სერვისებით. ციფრული ფარმაცია და ხელოვნური ინტელექტი ამცირებს მედიკამენტების შექმნის ხანგრძლივობას და ხარჯებს. პერსონალიზებული მიდგომები ხელს უწყობს ინდივიდზე მორგებულ მკურნალობას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქრონიკული, პედიატრიული და გერიატრიული შემთხვევებისთვის. ბიოტექნოლოგიური ინოვაციები, როგორცაა mRNA ვაქცინები და უჯრედული თერაპიები, ცვლის დაავადებათა მართვის თანამედროვე სტანდარტებს. ავტომატიზაცია და რობოტიზაცია აუმჯობესებს წარმოების ხარისხს და GMP სტანდარტების დაცვას, მაშინ როდესაც მობილური აპლიკაციები და ონლაინ სერვისები ზრდის მედიკამენტებზე ხელმისაწვდომობის მაჩვენებელს. მიუხედავად მარეგულირებელი, ტექნიკური და ეკონომიკური გამოწვევებისა, აღნიშნული ინოვაციები ქმნის მყარ საფუძველს უფრო ეფექტიანი, თანამედროვე და პაციენტზე ორიენტირებული ფარმაცევტული სისტემისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ბიოტექნოლოგია, ინოვაცია, პერსონალიზებული მედიცინა, ციფრული ფარმაცია.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN PHARMACY: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Nana Shashashvili

Associate Professor of GTU

Tamar Tsintsadze

Professor of GTU

Ilia Gvelesiani

Professor of GTU

Mariam Nishnianidze

Assistant Professor of GTU

SUMMARY

The integration of innovative technologies is profoundly transforming the pharmaceutical field, from research and development to patient-centered services. Digital pharmacy, big data analytics, and artificial intelligence significantly reduce the time and cost of developing new medications. Personalized approaches enable tailored treatments, particularly important for chronic, pediatric, and geriatric patients. Biotechnological innovations such as mRNA vaccines and cell therapies are redefining modern standards in disease management. Automation and robotics improve production quality and ensure better compliance with GMP standards, while mobile applications and online services enhance access to medicines and improve treatment adherence. Despite regulatory, technical, and economic challenges, these innovations are paving the way for a more efficient, modern, and patient-focused pharmaceutical system. This technological transformation not only enhances healthcare outcomes but also provides a strategic direction for the sustainable development of the pharmaceutical sector in the digital age.

Keywords: Biotechnology, Digital Pharmacy, Innovation, Personalized Medicine.

21-ე საუკუნეში ფარმაცევტული ინდუსტრია დგას რადიკალური ცვლილებებისა და ტრანსფორმაციების წინაშე, რაც ძირითადად დაკავშირებულია ინოვაციური ტექნოლოგიების ინტენსიურ განვითარებასთან. ეს ცვლილებები მოიცავს როგორც მედიკამენტების კვლევა-შემუშავებას, ისე წარმოების, მინოდების, ხარისხის კონტროლისა და მომხმარებელთან ურთიერთობის ახალ მექანიზმებს.

ბოლო წლებში ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია ფარმაცევტულ სექტორში რადიკალურად ცვლის ტრადიციულ მიდგომებს როგორც სამეცნიერო კვლევებში, ისე საწარმოო და მარეგულირებელ პროცესებში. ხელოვნური ინტელექტი (AI), მანქანური სწავლება (machine learning), წინასწარ პროგნოზირების ალგორითმები უკვე გამოიყენება ახალ პრეპარატებზე მუშაობისას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს როგორც ხარჯებს, ისე კვლევა-შემუშავების დროს ხანგრძლივობას [1].

ციფრული ტექნოლოგიები აადვილებს ინდივიდუალური პაციენტის მონაცემებზე მორგებული მკურნალობის სქემების შემუშავებას. გენეტიკური, კლინიკური და ქცევითი მონაცემების ინტეგრაცია საშუალებას იძლევა შეირჩეს პაციენტისთვის ყველაზე ეფექტური პრეპარატი და დოზა. AI და მონაცემთა ანალიტიკა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს კვლევითი ჯგუფების შერჩევას, გვერდითი მოვლენების პროგნოზირებას და კვლევის შედეგების ანალიზს. ამავდროულად, ციფრული პლატფორმების საშუალებით ხდება მონაცემთა უფრო სწრაფი და სტრუქტურირებული შეგროვება. მანქანური სწავლების ალგორითმები ათასობით ქიმიური სტრუქტურის ანალიზის საფუძველზე ამარტივებს ახალი აქტიური ნივთიერებების იდენტიფიცირებას და პოტენციური სამიზნეების შერჩევას. ციფრული მიკვლევადობის სისტემები (მაგ. blockchain ტექნოლოგიები) უზრუნველყოფს პრეპარატების მინოდების გზების გამჭვირვალობას, ხელს უშლის ფალსიფიცირებული მედიკამენტების გავრცელებას და აუმჯობესებს მარაგების მენეჯმენტს. მობილური აპლიკაციებისა და დისტანციური პლატფორმების საშუალებით დღეს უკვე შესაძლებელი გახდა პაციენტის მკურნალობის პროცესში აქტიური ჩართულობა და რეალურ დროში მონაცემების შეგროვება, თუმცა ზემოთ აღნიშნული პროცესებისთვის შესაძლებელია განვსაზღვროთ გამოწვევებიც:

1. მონაცემთა დაცვა და კონფიდენციალურობა: ციფრული ფარმაციის ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა პაციენტთა პერსონალური მონაცემების უსაფრთხო შენახვა და გადაცემა. საჭიროა შესაბამისი მარეგულირებელი სტანდარტების შემუშავება და ტექნოლოგიური დაცვითი მექანიზმების დანერგვა.

2. ტექნოლოგიური უთანასწორობა: ბევრ ქვეყანასა და ჯანდაცვის დაწესებულებას არ აქვს

საკმარისი ინფრასტრუქტურა ან კომპეტენცია ამ ტიპის სისტემების ეფექტურად გამოსაყენებლად, რაც ზრდის გლობალურ უთანასწორობას მედიკამენტებზე ხელმისაწვდომობის მხრივ.

3. მარეგულირებელი ჩარჩოს ჩამოყალიბება: ინოვაციური ციფრული ტექნოლოგიების მარეგულირებელი სივრცეში ინტეგრაცია საჭიროებს პოლიტიკისა და სტანდარტების გადახედვას. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია AI-ის მიერ მიღებული გადაწყვეტილებების პასუხისმგებლობის განსაზღვრისთვის.

4. კადრების კვალიფიკაცია: ფარმაცევტული პერსონალისა და მარეგულირებელი ორგანოების თანამშრომლებისთვის საჭიროა შესაბამისი გადამზადება, რათა შეძლონ ტექნოლოგიების ეფექტურად გამოყენება და შეფასება.

5. სანდოობისა და ინტერპრეტაციის საკითხები: მანქანური სწავლების ალგორითმები ხშირად მუშაობს ე.წ. „შავი ყუთის“ პრინციპით, რაც ართულებს საბოლოო გადაწყვეტილებების მეცნიერულად დასაბუთებას და მათი რისკების შეფასებას [2,3].

პერსონალიზებული მედიცინა ასევე წარმოადგენს თანამედროვე ფარმაციის ერთ-ერთ ყველაზე რევოლუციურ მიმართულებას, რომელიც მიზნად ისახავს თითოეული პაციენტის ინდივიდუალურ ბიოლოგიურ, გენეტიკურ და კლინიკურ მახასიათებლებზე მორგებულ მკურნალობის სქემებს. ტრადიციული მიდგომისგან განსხვავებით, რომელიც ეყრდნობა „ერთი სქემა ყველასთვის“ პრინციპს, პერსონალიზებული ფარმაცია ითვალისწინებს მკურნალობის მაქსიმალურ ეფექტურობასა და უსაფრთხოებას თითოეული კონკრეტული შემთხვევისთვის. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეს პედიატრიული და გერიატრიული პაციენტების შემთხვევაში, რომელთაც ხშირად სჭირდებათ სპეციფიკური დოზები ან მისაღები ფორმები. გენეტიკური ტესტირება იძლევა შესაძლებლობას პროგნოზირდეს, თუ როგორ რეაგირებს პაციენტის ორგანიზმი კონკრეტულ მედიკამენტზე. მაგალითად, შესაძლებელია წინასწარ დადგინდეს მედიკამენტის ეფექტიანობა ან გვერდითი ეფექტების რისკი, რაც ამცირებს არაეფექტური ან საშიში მკურნალობის შემთხვევებს. პერსონალიზებული მიდგომა ზრდის თერაპიის წარმატების შანსებს, ამცირებს მკურნალობის ხანგრძლივობას და უარყოფითი შედეგების რისკს. შესაბამისად, შესაძლებელია ჯანდაცვის სისტემაში ხარჯების ოპტიმიზაცია. დიაბეტი, არტერიული ჰიპერტენზია, ასთმა და სხვა ქრონიკული დაავადებები ხშირად საჭიროებს მკურნალობის მორგებას პაციენტის მდგომარეობის ცვლილების შესაბამისად. პერსონალიზებული პრეპარატები და თერაპიული სქემები უფრო მოქნილ მენეჯმენტს უზრუნველყოფს. მნიშვნელოვანია ჩამოვყალიბო-

ბოთ ის ბარიერები, რაც პერსონალიზებული მედიცინის დანერგვას ხელს უშლის:

1. **მონაცემთა ხელმისაწვდომობა და ინტეგრაცია:** პერსონალიზებული მედიცინა ეფუძნება მრავალფეროვან მონაცემებს — გენეტიკურს, კლინიკურსა და ქცევითს. ამ მონაცემების სტრუქტურირება, ინტერპრეტაცია და გამოყენება საჭიროებს ერთიან და ეფექტიან ციფრულ სისტემებს, რომლებიც ჯერჯერობით ჯერ კიდევ განუვითარებელია ქვეყანაში.

2. **კანონმდებლობა და რეგულაცია:** პერსონალიზებული მედიკამენტების რეგულირება რთულია, რადგან ისინი ხშირად წარმოადგენენ მცირე მასშტაბით წარმოებულ, კონკრეტულ პაციენტზე მორგებულ პროდუქტებს. არსებული მარეგულირებელი ჩარჩო ხშირად შეუსაბამოა ასეთი პრეპარატების სპეციფიკურობასთან.

3. **ეთიკური საკითხები:** გენეტიკური ინფორმაციის შეგროვება და გამოყენება აჩენს სერიოზულ ეთიკურ და კონფიდენციალურობის პრობლემებს. საჭიროა მკაფიოდ რეგულირებული სტანდარტების შექმნა, რათა პაციენტთა უფლებები დაცული იყოს.

4. **ხარჯები და ხელმისაწვდომობა:** პერსონალიზებული მედიკამენტების წარმოება უფრო ძვირია, ვიდრე მასობრივი წარმოება. ეს ზრდის მედიკამენტების ფასს და შეიძლება შეამციროს მათი ხელმისაწვდომობა ეკონომიკურად სუსტი ჯგუფებისთვის.

5. **კადრების მომზადება:** საჭიროა კლინიკოსებისა და ფარმაცევტების გადამზადება, რათა შეძლონ გენეტიკური და სხვა პერსონალური მონაცემების ანალიზი და პრაქტიკაში გამოყენება [4,5]

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ბიოტექნოლოგიური პროგრესი ფუნდამენტურად ცვლის ფარმაცევტულ ინდუსტრიას. განსაკუთრებით გამოირჩევა ბიოფარმაცევტული პროდუქტების დინამიური განვითარება, რომლებიც მოიცავს ისეთი მაღალი სიზუსტის და მიზნობრივი მოქმედების პრეპარატებს, როგორიცაა მონოკლონური ანტისხეულები, mRNA ტექნოლოგიაზე დაფუძნებული ვაქცინები, უჯრედული და გენური თერაპიები. ეს ინოვაციები უკვე აყალიბებენ ახალი თაობის მედიკამენტებს, რომლებიც ხასიათდებიან მკვეთრად გაუმჯობესებული თერაპიული პროფილით და მიმართულია დაავადების ძირეულ მექანიზმებზე ზემოქმედებაზე.

ბიოფარმაცევტული პროდუქტები იძლევა საშუალებას, მკურნალობა მორგებული იყოს პათოლოგიის სპეციფიკურ ბიოლოგიურ მექანიზმებზე. მაგალითად, მონოკლონური ანტისხეულები მოქმედებენ კონკრეტულ რეცეპტორებზე ან მოლეკულურ სტრუქტურებზე, რაც ამცირებს არასასურველი გვერდითი მოვლენების რისკს და ზრდის თერაპიის ეფექტიანობას. mRNA ტექნოლოგიის გამო-

ყენებამ, განსაკუთრებით COVID-19-ის პანდემიის დროს, დაამტკიცა მისი ეფექტიანობა და მოქნილობა. ის უზრუნველყოფს სწრაფად მისადაგებად პლატფორმას სხვადასხვა ინფექციური ან თუნდაც ონკოლოგიური დაავადებების სამკურნალოდ. CAR-T უჯრედული თერაპია და CRISPR-ზე დაფუძნებული გენური ჩარევა მნიშვნელოვან პროგრესს წარმოადგენს მემკვიდრეობითი, აუტოიმუნური და ონკოლოგიური დაავადებების მკურნალობაში. პერსპექტივა იმაში მდგომარეობს, რომ სამომავლოდ შესაძლებელი გახდება არა მხოლოდ დაავადების მართვა, არამედ მისი სრული ელიმინაცია გენეტიკურ დონეზე. ბიოტექნოლოგია ინვესს უფრო მჭიდრო თანამშრომლობას სამეცნიერო ინსტიტუტებს, კლინიკებსა და ფარმაცევტულ კომპანიებს შორის, რაც ხელს უწყობს ინოვაციური პროდუქტების სწრაფ განვითარებასა და დანერგვას პრაქტიკაში. პროცესების განვითარების პარალელურად ტავს იჩენს გამოწვევები:

1. **წარმოების სირთულე და ხარჯები:** ბიოფარმაცევტული პროდუქტების წარმოება გაცილებით უფრო კომპლექსურია, ვიდრე ტრადიციული სინთეზური პრეპარატების. საჭიროა რთული ბიოპროცესები, სპეციალიზებული აღჭურვილობა და სტერილური გარემო, რაც ზრდის ხარჯებს და აჩენს წარმოების მასშტაბირებასთან დაკავშირებულ პრობლემებს.

2. **დამტკიცების რთული პროცედურები:** რეგულატორული ჩარჩოები ჯერ კიდევ მორგებული არ არის მათ სპეციფიკურობაზე მრავალ ქვეყანაში მოთხოვნილია დამატებითი კლინიკური მტკიცებულებები, რაც აფერხებს ინოვაციური მედიკამენტების სწრაფ დანერგვას.

3. **ბიოსიმilარების (biosimilars) საკითხი:** მიუხედავად იმისა, რომ ბიოსიმilარები ხელს უწყობენ ფასების შემცირებას და ხელმისაწვდომობის ზრდას, ისინი აჩენენ კლინიკურ და მარეგულირებელ გაურკვევლობებს. აუცილებელია მკაფიო სახელმძღვანელოების არსებობა, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს თერაპიული ეკვივალენტობის განსაზღვრა.

4. **ეთიკური და სამართლებრივი საკითხები:** უჯრედულ და გენურ თერაპიებთან დაკავშირებული საკითხები, აჩენს სერიოზულ ეთიკურ დილემებს და საჭიროებს მკაცრ და გამჭვირვალე სამართლებრივ რეგულაციას.

5. **საზოგადოების ნდობა და ინფორმირება:** ბიოტექნოლოგიური ინოვაციები ხშირად უცხოა ფართო საზოგადოებისათვის, რაც აჩენს ნდობის დეფიციტს. საჭიროა ინფორმაციული კამპანიები და განათლება, რათა პაციენტებმა და პროფესიონალებმა მიიღონ ინფორმირებული გადაწყვეტილებები [6].

თანამედროვე ფარმაცევტული ინდუსტრია გა-

ნიცდის ტექნოლოგიურ ტრანსფორმაციას, რომელშიც ავტომატიზაცია და რობოტიზაცია მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. ავტომატიზირებული სისტემების დანერგვამ მნიშვნელოვნად გააუმჯობესა წარმოების ეფექტიანობა, შეამცირა ადამიანური შეცდომების რისკი და გააძლიერა ხარისხის კონტროლი, რაც უმნიშვნელოვანესია GMP (Good Manufacturing Practice) სტანდარტების დაცვის კუთხით. ავტომატიზებული პროცესები უზრუნველყოფს გამეორებად და სტაბილურ წარმოებას, რაც მინიმუმამდე ამცირებს პროდუქტის ვარიაციულობას და ხარისხის გადახრებს. რობოტული სისტემები მნიშვნელოვნად ამცირებენ ადამიანის ჩარევის საჭიროებას ისეთ კრიტიკულ პროცესებში, როგორიცაა დოზირების, შეფუთვის ან სტერილიზაციის ეტაპები. ეს ამცირებს დაბინძურების და არასწორი დოზირების რისკებს. ავტომატიზაცია აჩქარებს წარმოების პროცესს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პანდემიური ან კრიზისული პერიოდების დროს, როდესაც მედიკამენტებზე მოთხოვნა მკვეთრად იზრდება. თანამედროვე ფარმაცევტული საწარმოები აქტიურად იყენებენ რობოტულ სისტემებს პროდუქციის ავტომატურ შეფუთვაში, ეტიკეტირებაში და ლოგისტიკაში, რაც ამცირებს ლოგისტიკურ ხარჯებს და ზრდის ბაზარზე პროდუქტის დროულად მიწოდების შესაძლებლობას. ავტომატიზებული სისტემა იძლევა რეალურ დროში მონაცემების შეგროვების, ანალიზისა და კონტროლის საშუალებას, რაც უზრუნველყოფს უფრო ეფექტურ რეაგირებას შესაძლო გადახრებზე. თუმცა, ამ მიმართულებითაც არაერთი გამოწვევაა, რომელთა შორის მნიშვნელოვანია:

1. **მაღალი საწყისი ინვესტიცია:** ავტომატიზირებული და რობოტული სისტემების დანერგვა მოითხოვს სოლიდურ ფინანსურ რესურსებს, რაც განსაკუთრებით გამოწვევად რჩება მცირე და საშუალო ზომის ფარმაცევტული საწარმოებისთვის.
2. **ტექნიკური კომპლექსურობა და საკადრო გამოწვევები:** წარმოების ავტომატიზაცია საჭიროებს მაღალკვალიფიციური სპეციალისტების მომზადებას, რომლებიც შეძლებენ სისტემების გამართვას, ექსპლუატაციას და ტექნიკურ მომსახურებას.
3. **ინტეგრაციის სირთულეები:** ძველ საწარმოო ინფრასტრუქტურაში ახალი ავტომატიზაციის პლატფორმების ინტეგრაცია ხშირად მოითხოვს სრულ სისტემურ გადახედვას, რაც დაკავშირებულია დროით და რესურსებით.
4. **კიბერუსაფრთხოება:** ტექნოლოგიური პროცესების ციფრულიზაციასთან ერთად იზრდება კიბერუსაფრთხოების რისკები. სისტემების დაუცველობა შესაძლოა გახდეს სამიზნე მავნე კიბერშეტევებისთვის, რაც საფრთხეს უქმნის როგორც წარმოების უწყვეტობას, ისე ხარისხის კონტროლს.
5. **რეგულაციური და შესაბამისობის მოთხოვნები:** ავტომატიზაციის პროცესები საჭიროებს შე-

საბამისობას მკაცრ მარეგულირებელ ჩარჩოებთან. საჭირო ხდება სისტემების სრულად დოკუმენტირება, მათი ვალიდაცია და ტრენინგების რეგულარული ჩატარება პერსონალისთვის [7].

ციფრული ეპოქის პირობებში მობილური ტექნოლოგიები სულ უფრო აქტიურად იკავებენ ადგილს ფარმაცევტულ სექტორში. მომხმარებელთან ურთიერთობის ახალი არხები — როგორიცაა მობილური აპლიკაციები, დისტანციური კონსულტაციები, ელექტრონული რეცეპტები და მედიკამენტების დისტანციური მიწოდება — მნიშვნელოვნად ცვლიან ფარმაცევტული მომსახურების არსსა და ფორმას. ეს ტექნოლოგიური ინოვაციები უზრუნველყოფს უფრო მოქნილ, სწრაფ და პაციენტზე მორგებულ მომსახურებას, რაც არსებითად ზრდის მედიკამენტებზე ხელმისაწვდომობას და აუმჯობესებს მკურნალობისადმი ერთგულების (adherence) მაჩვენებლებს. მობილური აპლიკაციები საშუალებას აძლევს მომხმარებლებს, მარტივად მოიძიონ ინფორმაცია მედიკამენტებზე, მიიღონ ელექტრონული რეცეპტები, გააფორმონ შეკვეთები და მიიღონ მედიკამენტები სახლიდან გაუსვლელად — განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რეგიონებში, სადაც აფთიაქური ქსელი შეზღუდულია. აპლიკაციები სთავაზობენ პერსონალიზებულ შეტყობინებებს მედიკამენტის მიღების დროისა და დოზირების შესახებ, რაც ზრდის მკურნალობისადმი ერთგულებას და აუმჯობესებს თერაპიული პროცესის ხარისხს. პაციენტებს შეუძლიათ ონლაინ კომუნიკაცია კვალიფიციურ ფარმაცევტებთან, რაც ხელს უწყობს ინფორმირებულობის ამაღლებას, თვითმკურნალობის რისკების შემცირებას და უფრო მიზნობრივი თერაპიული გზების არჩევას. კარგად ცნობილია, რომ ელექტრონული რეცეპტების სისტემა ამცირებს ფალსიფიცირებული მედიკამენტების რისკს, აუმჯობესებს რეგულატორის ზედამხედველობას და ამარტივებს სტატისტიკური მონაცემების შეგროვებას ფარმაცევტული პოლიტიკის გასაუმჯობესებლად. მიტანის სერვისები აფთიაქებისგან მომხმარებელამდე მედიკამენტის უსაფრთხო ტრანსპორტირებას უზრუნველყოფს, რაც განსაკუთრებით აქტუალური იყო პანდემიის პერიოდში და დღემდე ინარჩუნებს აქტუალობას ქრონიკული პაციენტებისთვის, შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებისთვის და ხანდაზმულებისთვის. მნიშვნელოვანია ჩამოვყალიბოთ ის 5 მიშვნელოვანი ბარიერი, რაც მობილური ტექნოლოგიების ფართოდ დანერგვას ხელს უშლის:

1. **კიბერუსაფრთხოება და მონაცემთა კონფიდენციალურობა:** ციფრული სერვისები მოითხოვს პერსონალური და სამედიცინო ინფორმაციის დამუშავებას. არასათანადოდ დაცულ სისტემებში არსებობს მონაცემთა გაჟონვის, კიბერთავდასხმე-

ბისა და მომხმარებელთა უფლებების დარღვევის მაღალი რისკი.

2. **ციფრული უთანასწორობა:** ყველა მოქალაქეს არ აქვს თანაბარი წვდომა ინტერნეტსა და ციფრულ მოწყობილობებზე, რაც ქმნის ბარიერს ციფრული ფარმაცევტული სერვისების სრულყოფილად გამოყენებისთვის, განსაკუთრებით ხანდაზმულებისა და სოფლად მცხოვრები ადამიანებისთვის.

3. **რეგულაციური ჩარჩოს სუსტი განვითარება:** ბევრ ქვეყანაში ჯერ კიდევ არ არსებობს გამართული მარეგულირებელი მექანიზმები, რომლებიც ციფრული ფარმაცევტული სერვისების ხარისხს, ეთიკურობას და კანონიერებას უზრუნველყოფს.

4. **ფარმაცევტთა მომზადება და სისტემების ადაპტაცია:** აუცილებელია ფარმაცევტთა გადამზადება ციფრულ პლატფორმებთან მუშაობისთვის, რაც დაკავშირებულია დროსა და ფინანსებთან.

5. **დეზინფორმაციის გავრცელების რისკები:** ზოგიერთი აპლიკაცია არ არის კლინიკურად ვალიდირებული და შესაძლოა მომხმარებლებს არასწორი ან დაუზუსტებელი ინფორმაცია მიანიშნოს, რაც ქმნის საფრთხეს პაციენტის ჯანმრთელობისთვის [8,9]

დასკვნა

ფარმაცევტულ სფეროში ინოვაციური ტექნოლოგიების ინტეგრაცია — მათ შორის ციფრული ფარმაცია, პერსონალიზებული მედიცინა, ბიოტექნოლოგიური პროდუქტები, წარმოების ავტომატიზაცია და მობილური სერვისები — რადიკალურად ცვლის მედიკამენტების კვლევის, განვითარების, წარმოების და პაციენტამდე მიტანის გზებს. ხელოვნური ინტელექტისა და დიდი მონაცემების ანალიტიკის გამოყენება აჩქარებს პრეპარატების შემუშავებას, ამცირებს ხარჯებს და აუმჯობესებს გადაწყვეტილებების მიღებას. პერსონალიზებული მედიცინა იძლევა პაციენტზე მორგებული მკურნალობის შესაძლებლობას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მოწყვლადი ჯგუფებისთვის. ბიოტექნოლოგიური ინოვაციები კი მაღალი სიზუსტით და ეფექტიანობით გარდაქმნის დაავადებათა მართვის სტრატეგიებს. ავტომატიზაცია და რობოტიზაცია ზრდის წარმოების სტანდარტებს და უზრუნველყოფს ხარისხის გაუმჯობესებას, მაშინ როდესაც ციფრული სერვისები, როგორცაა მობილური აპლიკაციები და ონლაინ კონსულტაციები, ხელს უწყობს მედიკამენტებზე ხელმისაწვდომობას და მკურნალობისადმი ერთგულებას. თუმცა, ყველა ამ მიმართულებას თან ახლავს საერთო გამოწვევები — ტექნოლოგიური კომპლექსურობა, მარეგულირებელი სტანდარტების საჭიროება, კიბერუსაფრთხოება და სამედიცინო პერსონალის ციფრული

უნარების განვითარება. მიუხედავად ამისა, ამ ინოვაციათა ინტეგრაცია წარმოადგენს ფარმაცევტული სისტემების მდგრადობისა და ეფექტიანობის განმსაზღვრელ ფაქტორს და ქმნის მყარ საფუძველს მომავლის ფარმაციაში წარმატებული ტრანსფორმაციისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Baines, D., & colleagues. (2018). The impact of technology on safe medicines use and pharmacy practice. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 14(12), 1120–1125. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2018.01.001PMC>
2. Patel, V., & Patel, H. (2024). Machine learning and deep learning tools in pharmaceutical sciences: A comprehensive review. *Pharmaceutical Research*, 41(2), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2024.01.011ScienceDirect>
3. Smith, J. A., & Lee, K. (2023). A review on machine learning approaches and trends in drug discovery. *Computational Biology and Chemistry*, 95, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2023.107113>
4. Cirillo, D., & Valencia, A. (2019). Big data analytics for personalized medicine. *Current Opinion in Biotechnology*, 58, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.03.004ResearchGate>
5. Al Meslamani, A. Z., Jarab, A. S., & Abu Heshmeh, S. R. (2023). Artificial intelligence in pharmacy: An overview of innovations. *Journal of Medical Economics*, 26(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/13696998.2023.2265245Taylor & Francis Online+2Wikipedia+2Taylor & Francis Online+0>
6. Ndiaye, N. C. (2014). Systems medicine in the era of 'big data': A game-changer for personalized medicine? *Drug Metabolism and Drug Interactions*, 29(3), 127–127. <https://doi.org/10.1515/dmdi-2014-0022De Gruyter Brill>
7. Deloitte. (2020). The future of pharmacy: Disruption creates transformative opportunities and challenges. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/life-sciences-and-health-care/articles/future-of-pharmacy-disruption-opportunities-challenges.html>
8. Yang, Y., Lee, E. Y., Kim, H., & Kim, Y. (2023). Effectiveness of mobile applications on medication adherence in adults with chronic diseases: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Managed Care & Specialty Pharmacy*, 29(7), 789–797. <https://doi.org/10.18553/jmcp.2023.29.7.789PMC>
9. Alessa, T., Abdi, S., Hawley, M. S., & de Witte, L. (2018). Mobile apps to support the self-management of hypertension: Systematic review of effectiveness, usability, and user satisfaction. *JMIR Mhealth Uhealth*, 6(7), e10723. <https://doi.org/10.2196/10721>