

პერსონალიზებული და ზუსტი მედიცინის ტექნოლოგიური პლატფორმები

ნანა შაშიაშვილი

სტუ-ს ასოცირებული პროფესორი

ნინო ბაქრაძე

ბრემენის უნივერსიტეტის სტუდენტი

აბსტრაქტი

პაციენტთა მკურნალობის პერსონალიზაცია წარმოადგენს მედიცინის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიზანს, რადგან თითოეული ადამიანი წარმოდგენილია უნიკალური მოლეკულური, ფიზიოლოგიური და ქცევითი მახასიათებლებით, რომლებიც განსაზღვრავს მის ჯანმრთელობას და დაავადებათა განვითარებას. დაავადებების განვითარებაში მონაწილეობს მთელი რიგი მექანიზმების და პროცესების კომპლექსი, რომელთა ხასიათი და ურთიერთქმედება არ არის ბოლომდე შესწავლილი, ადამიანის ფიზიოლოგიაში ბევრი მოლეკულური და გენეტიკური პროცესი ჯერ კიდევ სრულად გაურკვეველია. პაციენტთა მკურნალობისა და დიაგნოზის ეფექტიანობის გაუმჯობესებისთვის აუცილებელია მნიშვნელოვანი პროგრესი ბიომარკერების აღმოჩენაში, რაც გულისხმობს დაავადების პროცესების უკეთეს აღქმას და პროგნოზირებას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია დიაგნოსტიკური და თერაპიული ხელსაწყოების ისეთი მოდელების შექმნა, რომლებიც საშუალებას მისცემს ექიმებს, შეიმუშაონ ზუსტი დიაგნოსტიკა და მკურნალობის მეთოდები კონკრეტული პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესაბამისად. ასეთი მიდგომა მოითხოვს ახალი მეთოდების განვითარებას, რომლებიც მუდმივად შესაბამისობაშია პაციენტის კონკრეტულ მდგომარეობასთან, შესაბამისად ოპტიმიზდება პრეპარატების შერჩევა და დოზირება. სტატიაში განხილულია მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური მიღწევები და გამოწვევები, რომელთა გადაწყვეტა აუცილებელია პაციენტთა მოვლის სრულად ინდივიდუალიზებული მოდელის შექმნის უზრუნველსაყოფად. ამგვარი გამოწვევების გადაჭრა სამედიცინო პრაქტიკაში უფრო ზუსტ და ეფექტიან მიდგომებს შექმნის, საბოლოოდ კი გაზრდის მკურნალობის ხარისხს და შედეგებს.

საკვანძო სიტყვები: ზუსტი მედიცინა, პერსონალიზებული მედიცინა.

TECHNOLOGICAL PLATFORMS FOR PERSONALIZED AND PRECISION MEDICINE

Nana Shashiashvili

Assoc. Professor of GTU

Nino Bakradze

Student, University of Bremen, Germany

Personalizing patient treatment is one of the most important goals in medicine, as each individual is characterized by unique molecular, physiological, and behavioral traits that define their health and the development of diseases. The development of diseases involves a complex set of mechanisms and processes, the nature and interactions of which have not been fully explored. For example, many molecular and genetic processes in human physiology remain unclear. Significant progress in the discovery of biomarkers is essential to improving the effectiveness of patient treatment and diagnosis, as it leads to a better understanding and prediction of disease processes. Furthermore, it is important to develop diagnostic and therapeutic models that will allow doctors to establish accurate diagnoses and treatment methods tailored to the specific health condition of the patient. This includes the creation of biological signatures that reflect dynamic changes in the disease, which will further facilitate more effective treatment. Such an approach requires the development of new methods that continuously align with the patient's specific condition, thus optimizing both dosing and drug selection. This paper discusses key technological advances that contribute to the development of personalized and precision medicine. It addresses technologies such as genomics, proteomics, biomarker discovery, and the development of new therapeutic methods. However, many challenges still exist in this field, and their resolution is necessary to ensure the creation of a fully individualized model of patient care. Addressing these challenges will create more precise and effective approaches in medical practice, ultimately improving the quality and outcomes of treatment.

Keywords: Personalized Medicine, Precision Medicine.

შესავალი

ზუსტი მედიცინა ემყარება დიდ პოპულაციურ მონაცემებს და ცდილობს, ინდივიდის მკურნალობის გეგმა ამ მონაცემების საფუძველზე შეიმუშაოს. განსხვავებით პერსონალიზებული მედიცინისგან, რომელიც მთლიანად ფოკუსირებულია თითოეულ პაციენტზე და არ საჭიროებს დიდი მონაცემთა ბაზების ანალიზს. საყურადღებოა **ტექნოლოგიური მიღწევები ორივე მიდგომაში**: ინჟინრები ავითარებენ ტექნოლოგიებს, როგორიცაა მიკრო/ნანოფლუიდიკა სიმსივნის ცირკულირებადი უჯრედების (CTC) (ეს უჯრედი სიმსივნის ძირითად კერას ტოვებს და სისხლის მიმოქცევის სისტემაში გადადის, რაც მეტასტაზების წარმოქმნის საფუძველი შეიძლება გახდეს) ანალიზისთვის, ნანოტექნოლოგია თხევადი ბიოფსიისთვის, იმიჯინგის პლატფორმები, რომლითაც შეიძლება ნანომედიკამენტების ეფექტიანობის პროგნოზირება.

ინდივიდუალური მონიტორინგის ტექნოლოგიები ვითარდება სხვადასხვა მიმართულებით: **ჭკვიანი მონაცემები**: სისხლში გლუკოზის კონტროლი, ნეიროსტიმულაცია, ოფლის ბიომონიტორინგი; **ხელოვნური ინტელექტი**: მედიკამენტების შერჩევა და დოზირება; **თერანოსტიკა**: გენური რედაქტირების ნაწილობრივი ნაწილები, რომლებიც ერთდროულად ასრულებენ დიაგნოსტიკურ და თერაპიულ ფუნქციას. ამ ტექნოლოგიების ზრდასთან ერთად, მედიცინა უფრო ეფექტიანად შეძლებს ინდივიდუალური მკურნალობის დაგეგმვას, რაც ხელს შეუწყობს “ერთიანი სამედიცინო სტანდარტების” შეცვლას პერსონალიზებული მიდგომებით [1].

ძირითადი ტექსტი. ბიოინჟინერია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზუსტი და პერსონალიზებული მედიცინის დანერგვაში, ასევე მათთვის საჭირო ტექნოლოგიების განვითარებაში კლინიკური კვლევების პრაქტიკაში. ტრადიციული ბიომედიცინიდან მიღებული ცოდნა კლინიკურ გადაწყვეტილებებზე გარდაიქმნება ინჟინერიის ინსტრუმენტებისა და მიდგომების საშუალებით. ინჟინრებს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭებათ ამ სფეროს განვითარებაში, თუმცა შესაძლოა, ჯერ ბოლომდე არ ესმოდეოთ, რამდენად დიდია მათი ტექნოლოგიების პოტენციალი დღემდე გადაუჭრელი კლინიკური პრობლემების მოსაგვარებლად. პერსონალიზებული და ზუსტი მედიცინა, ინოვაციური ტექნოლოგიები და გააზრებული პოლიტიკის არჩევანი ერთად გახსნის გზას ოპტიმიზებული მიზნობრივი თერაპიების, დაავადებების პრევენციისა და ადამიანის დაავადებების გაგების სრულიად ახალი მიდგომისაკენ.

ზუსტი მედიცინის სფერო უკვე მოგვცა მნიშვნელოვანი ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ როგორ იწყება დაავადება, რომელ ბიოლოგიურ სამიზნეებს შეუძლიათ პირდაპირ შეაჩერონ მისი პროგ-

ნოზი და რომელი ბიომარკერები ასახავენ მკურნალობის ეფექტურობას. ამ ცოდნამ მნიშვნელოვანი ნაბიჯები გადადგა პაციენტების მკურნალობის შედეგების გაუმჯობესებისკენ. ახალი მონაცემთა წყაროებისა და მათი კომბინაციების გაჩენით, ზუსტი მედიცინა ხელს შეუწყობს არსებული პლატფორმების, როგორიცაა ფარმაკოგენომიკა და პაციენტისგან მიღებული უჯრედული კულტურები, გაუმჯობესებას. დიდი მონაცემთა ბაზების ინტეგრაციის საშუალებით, ამ მიდგომებს შეუძლიათ გამოავლინონ მიზნობრივი თერაპიები, რომლებიც სტანდარტულ კლინიკურ მკურნალობასთან შედარებით უკეთეს რეაგირებას იწვევენ. ამჟამად, ეს მიღწევები აქტიურად განიხილება კლინიკურ კვლევებში. ამ დროისთვის რამდენიმე კლინიკური კვლევა მიმდინარეობს, რომელიც ზუსტი მედიცინას პრაქტიკაში წერს. მაგალითად:

- ფილტვის კიბოს კვლევის ფარგლებში ხდება ადამიანის და მღრღნელის ქსოვილების გენომური ანალიზი და მისი შეჯერება იმიჯინგის მონაცემებთან, რათა გაუმჯობესდეს თხევადი ბიოფსიის მეთოდები (NCT02597738).

- კვლევა, რომელიც ზუსტი მიდგომას იყენებს კიბოს დროს ტკივილის მართვისთვის – პაციენტებს უტარდებათ CYP2D6 და OPRM1 გენოტიპების სკრინინგი, რათა შეფასდეს მათი რეაქცია ოპიოიდურ მკურნალობაზე (NCT02664350).

- ზუსტი მედიცინის საშუალებით ცდილობენ დაადგინონ გენომური და მოლეკულური მარკერები, რომლებიც პროგნოზირებენ 17 ჰიდროქსიმედიპროტერონის კაპროატის (17OHP) ეფექტურობას ნაადრევი მშობიარობის პრევენციისთვის (NCT02173210).

- მკერდის კიბოს სამკურნალოდ ერთ კვლევაში (NCT02624973) ოთხი პროგნოზირებადი მარკერი (HER2, TP53, CHEK2 და RB1) მასშტაბური გენეტიკური სკრინინგის საშუალებით ერთიანდება, რათა შეიქმნას მონაცემთა ბაზა, რომელიც დაეხმარება ინდივიდუალურად მორგებული მკურნალობის შერჩევაში [2, 3].

ზუსტი მედიცინა მხოლოდ გენომურ მონაცემებზე არ არის დამოკიდებული. ეს უფრო ფართო კონცეფციაა, რომელიც აერთიანებს ბიოლოგიას, ფიზიკას, ინჟინერიას, კომპიუტერულ მეცნიერებასა და ჯანდაცვას, რათა შექმნას მონაცემებზე დაფუძნებული, მექანიზმზე ორიენტირებული სამედიცინო მიდგომები.

ზუსტი მედიცინა ანალიზებს დიდ მონაცემებს და განსაზღვრავს, როგორ რეაგირებს კონკრეტული პაციენტი დაავადების მდგომარეობაზე და რა ინტერვენციებია ყველაზე ეფექტური. აქ ინჟინერია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სხვადასხვა მონაცემთა “შრის” დაკავშირებაში, რაც საშუალებას გვაძლევს დაავადება ხელახლა განვსაზღვროთ

და ვიპოვოთ ახალი, პერსპექტიული სამკურნალო სტრატეგიები. ინჟინრები მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანენ ზუსტ მედიცინაში შემდეგი მიმართულებებით: ბიომარკერების აღმოჩენის მხარდაჭერა, დიაგნოსტიკური და სენსორული პლატფორმების შექმნა, ახალი მედიკამენტების მიწოდების სისტემების განვითარება, რათა ზუსტი თერაპია ეფექტიანად მიეწოდოს პაციენტს (სურათი 1).

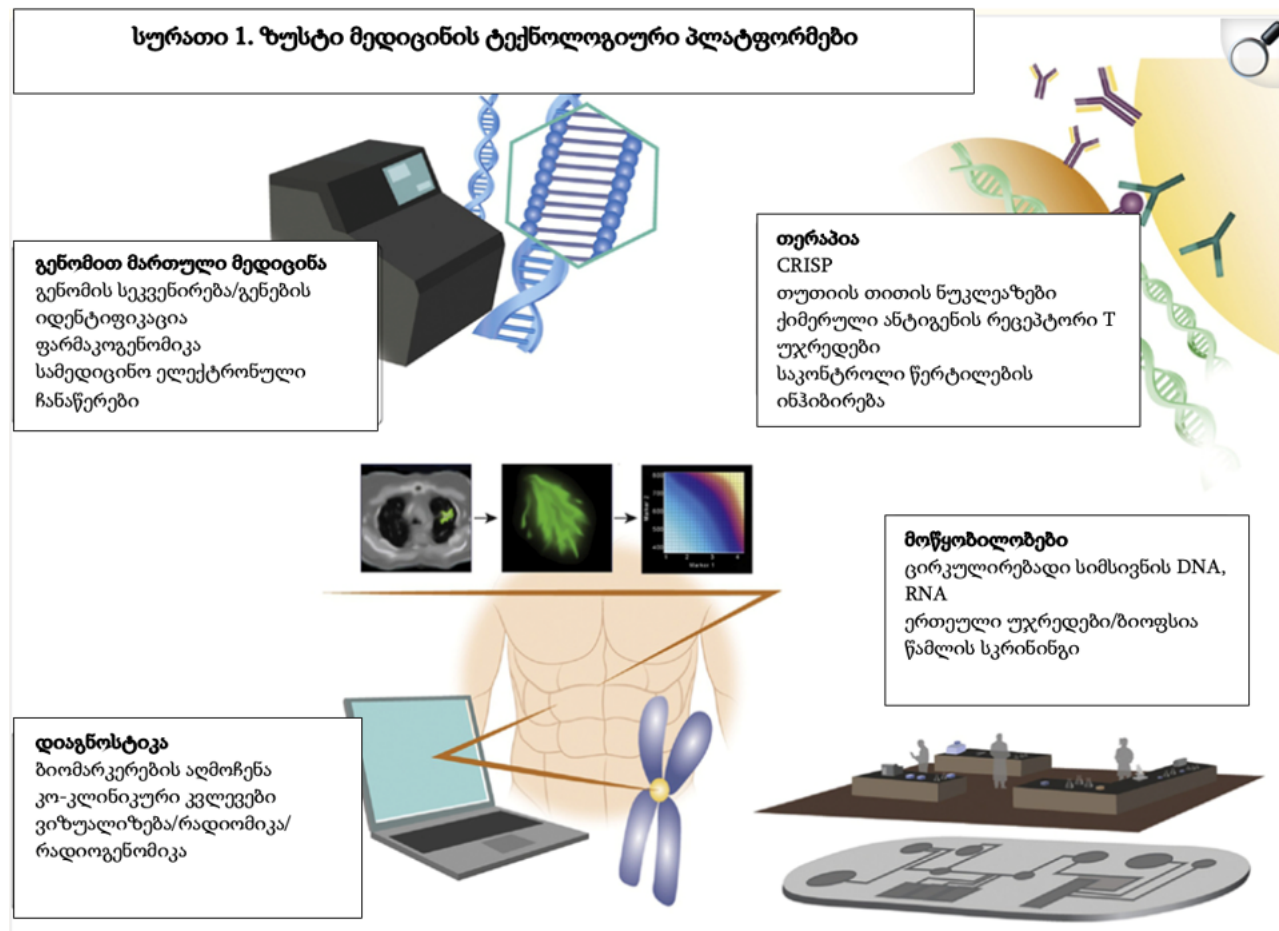
ინჟინერიის მიდგომებმა ბიომარკერების აღმოჩენასა და დამტკიცებაში შესაძლებელი გახადეს ისეთი სიგნატურების (ბიოლოგიური ნიშნების)

შექმნა, რომლებიც პაციენტის რეაქციას თერაპიაზე დინამიურად ასახავს. გენომური კვლევებისა და ახალი მეთოდების, როგორიცაა მომდევნო თაობის სეკვენირება (NGS), დანერგვამ ზუსტი მედიცინის ფართო კლინიკური გამოყენება გაამარტივა. მაგალითად, SiMoA (Single Molecule Array) ტექნოლოგია, რომელიც ცალკეული მოლეკულების ციფრულ ანალიზს უზრუნველყოფს, პროსტატის კიბოს ცალკეულ უჯრედებში PSA (პროსტატის სპეციფიკური ანტიგენის) ცვლილებებს იდენტიფიცირებდა, რითაც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესა დიაგნოსტიკა.

ბოჭკოვანი მიკრომატრიცებიც (Fiber microarrays) სხვადასხვა ბიომარკერის ანალიზისთვის გა-

მოიყენება. ამ ტექნოლოგიამ ცისტური ფიბროზის (CF) პოტენციური ბიომარკერული პროფილი გამოავლინა, რომელიც მოიცავდა VEGF, IP-10, IL-8 და EGF-ის მომატებულ დონეს, ხოლო MMP-9-ის შემცირებულ დონეს. ეს ექვსი ბიომარკერის კომბინაცია დაავადების სიმძიმის შეფასებისთვის გამოიყენეს. მიკროფლუიდური ტექნოლოგიები უკვე დიდი ხანია გამოიყენება ბიომედიცინაში მცირე მოცულობის ნიმუშებში ბიომარკერების გამოსავლენად. ერთ-ერთი კვლევის ფარგლებში, მიკროფლუიდურმა მოწყობილობამ სისხლში ჰეპატოცელულარული კარცინომის (HCC) ცირკულირებადი სიმსივნური უჯრედები (CTCs) გამოავლინა. ამ მეთოდმა დაუმუშავებელი HCC პაციენტების 9-დან 16-ში სიმსივნური უჯრედები იპოვა, მაშინ, როცა ტრადიციული AFP (ალფაფეტოპროტეინის) ანალიზი ამ შემთხვევებს ვერ ავლენდა. გარდა ამისა, ცალკეული უჯრედების ანალიზი (Single-cell analysis) სულ უფრო პოპულარული ხდება. ამ მიდგომას იყენებენ კიბოს უჯრედების კვლევისთვის, რათა შეფასდეს სიმსივნის წარმოშობა, განვითარება და მეტასტაზირება. მაგალითად, RT-PCR-ის გამოყენებით ჰემატოპოეტური ღეროვანი უჯრედების გენეტიკური პროფილირება ორ განსხვავებულ უჯრედულ ქვე-განყოფილებას შორის განსხვავებებს ავლენდა,

სურათი 1. ზუსტი მედიცინის ტექნოლოგიური პლატფორმები



რაც ამ უჯრედების ტრანსკრიპციულ რეგულაციას ახალ პერსპექტივებს უკავშირდება. ზუსტ მედიცინაში ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევა არის ისეთი ბიომარკერების არარსებობა, რომლებიც მკურნალობის ეფექტიანობას ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრავს. ეს განსაკუთრებით აქტუალურია სიმსივნეების, ტუბერკულოზის, ტკივილისა და ტვინის დაზიანებების დიაგნოსტიკისას. მიკროფლუიდური და ნანოფლუიდური ტექნოლოგიები იძლევა უნიკალურ შესაძლებლობას, გაანალიზდეს სხვადასხვა ბიოლოგიური სითხე (შარდი, სისხლი, ნერწყვი) ერთდროულად და უფრო ხშირი მონიტორინგი ჩატარდეს, ვიდრე ტრადიციული მეთოდებით (მაგალითად, CT, MRI ან სისხლის ანალიზი). ამ მიდგომას უკვე აქტიურად იყენებენ CTC-ების გენომური ანალიზისთვის და ბიომარკერების იდენტიფიცირებისთვის ფილტვის, მკერდის, პროსტატის, კოლორექტალური და კუჭის კიბოს შემთხვევაში. ერთუჯრედიანი გენომიკა ასევე მნიშვნელოვნად ავითარებს კიბოს კვლევას. მაგალითად, მეტასტაზური პროსტატის კიბოს (mCRPC) მქონე პაციენტებში CTC-ების ზედაპირზე **AR-V7** (ანდროგენული რეცეპტორის ვარიანტი 7) არსებობა მკურნალობის შედეგის პროგნოზირებაში დაეხმარა [2, 4, 5].

თხევადი ბიოფსია (Liquid biopsy) ზუსტ მედიცინაში ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული ტექნოლოგიაა. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა სისხლიდან, ექსოსომებიდან, უჯრედისგან თავისუფალი დნმ-დან და ცილებიდან მიღებული მონაცემების საფუძველზე დაავადების მიმდინარეობა შეფასდეს. ამგვარი მიდგომა პოტენციურად შესაძლებელს ხდის არა მხოლოდ დაავადების მონიტორინგს, არამედ მედიკამენტური თერაპიის დინამიურად „მორგებას“ რეალურ დროში. მომავალში თხევადი ბიოფსია შესაძლოა გამოყენებულ იქნას წამლის მოქმედების პროგნოზირებისთვის და ინდივიდუალური მკურნალობის სტრატეგიების დასაგეგმად.

გენების რედაქტირების ინსტრუმენტები, როგორიცაა **CRISPR** (კლასტერებად განლაგებული რეგულარული ინტერვალებით განმეორებადი მოკლე პალინდრომული თანმიმდევრობები) და **თუთიის თითის ნუკლეაზები (ZFN)**, საშუალებას გვაძლევს შევცვალოთ კონკრეტული გენომის კომპონენტები. **თუთიის თითის ნუკლეაზა (ZFN)** - ფერმენტი შეიცავს დნმ-ის დასაკავშირებელ და დასაჭრელ უბნებს და გამოიყენება გენომის რედაქტირებისთვის.

ეს ხსნის ახალ შესაძლებლობებს გენეტიკური დეფექტების პრეციზიული გამოსწორებისთვის სხვადასხვა დაავადებებში, მათ შორის კიბოსა და აივ/შიდსის დროს. **CRISPR**-ის ხელმისაწვდომობამ შესაძლებელი გახადა მასობრივი მონაცემების წარმოება, რაც, სავარაუდოდ, გამოააშკარავებს დაავადებებს შორის ახალ კავშირებსა და აქამდე უცნობ ბიოლოგიურ მექანიზმებს. გენეტიკური

რედაქტირება უკვე წარმატებით იქნა გამოყენებული კლინიკაში. მაგალითად, **ZFN** ტექნოლოგიით შექმნილი პრეპარატი **SB-913** დაინერგა **ჰანტერის სინდრომით (MPS II)** დაავადებულ პაციენტებში გენეტიკური კორექციისთვის (NCT03041324). მსგავსი მკურნალობა მუშავდება **MPS I-სთვის (SB-318, NCT02702115)** და **ჰემოფილიის (SB-FIX, NCT02695160)** სამკურნალოდ. **CRISPR**-ით უკვე დაიწყო კლინიკური კვლევები აივ-ინფიცირებულ პაციენტებში, რომლებიც ეხება **CCR5** გენში ცვლილებების შეტანას (NCT02500849).

ბოლო წლებში მიზნობრივმა თერაპიამ და ანტისხეულებზე დაფუძნებულმა მკურნალობამ **პრეციზიული მედიცინის** მთავარი საფუძველი შექმნა. გენეტიკური და პროტეომული კვლევების საფუძველზე უკვე იწარმოება პაციენტისთვის ინდივიდუალურად შერჩეული პრეპარატები. მაგალითად, **CRISPR/Cas9** ტექნოლოგიის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა **დუშენის კუნთოვანი დისტროფიის (DMD)** გენეტიკური ანომალიის გამოსწორება. ამ თერაპიამ შეძლო **დისტროფინის** წარმოების აღდგენა და მკურნალობის ეფექტურობის გაზრდა ცხოველთა მოდელებში. ასევე, კიბოს მკურნალობისთვის **PD-1**, **PD-L1** და **CTLA-4** ცილებზე დაფუძნებული ბიომარკერების გამოკვლევა გამოიყენება, რაც საშუალებას იძლევა ინდივიდუალურად განისაზღვროს პრეპარატების მოქმედების პროგნოზი (მაგ., მელანომის მკურნალობაში). გარდა ამისა, **ეპიდერმული ზრდის ფაქტორის რეცეპტორის (EGFR)** გარკვეული მუტაციები იძლევა მკურნალობის ინდივიდუალური შერჩევის საშუალებას **ფილტვის არაწვრილუჯრედოვანი კიბოს (NSCLC)** დროს, რაც ასტიმულირებს ახალი თაობის სამიზნე მედიკამენტების შემუშავებას. **CRISPR**-ის ეფექტურობის გასაზრდელად მეცნიერები სხვადასხვა **ნანონანილაკურ** მიწოდების სისტემას იყენებენ. მაგალითად:

- **ლიპიდურ ნანონანილაკებზე დაფუძნებული CRISPR/Cas9** სისტემამ წარმატებით დაათრგუნა **ქოლესტერინის გამომწვევი გენის აქტივობა** ცხოველთა მოდელებში.

- **ოქროს ნანონანილაკებით CRISPR-ის მიწოდებამ DMD-ით** დაავადებულ მოდელებში დნმ-ის დაზიანებული მონაკვეთის აღდგენა მოახერხა.

- **სფერული ნუკლეინის მჟავების (SNA) გამოყენებით** შესაძლებელია კონკრეტული გენის „გათიშვა“ კიბოს მკურნალობისთვის. ეს ნანონანილაკებია, რომლებიც შეიცავს მაღალი სიმკვრივით განლაგებულ ნუკლეინის მჟავებს და გამოიყენება გენის რეგულაციისთვის სხვადასხვა დაავადების წინააღმდეგ. ამჟამად მიმდინარეობს მათი კლინიკური გამოცდა.

აღსანიშნავია, რომ **SNA-პლატფორმა (NU-0129)** უკვე ტესტირდება კლინიკურ კვლევებში (NCT03020017) [4,5,6].

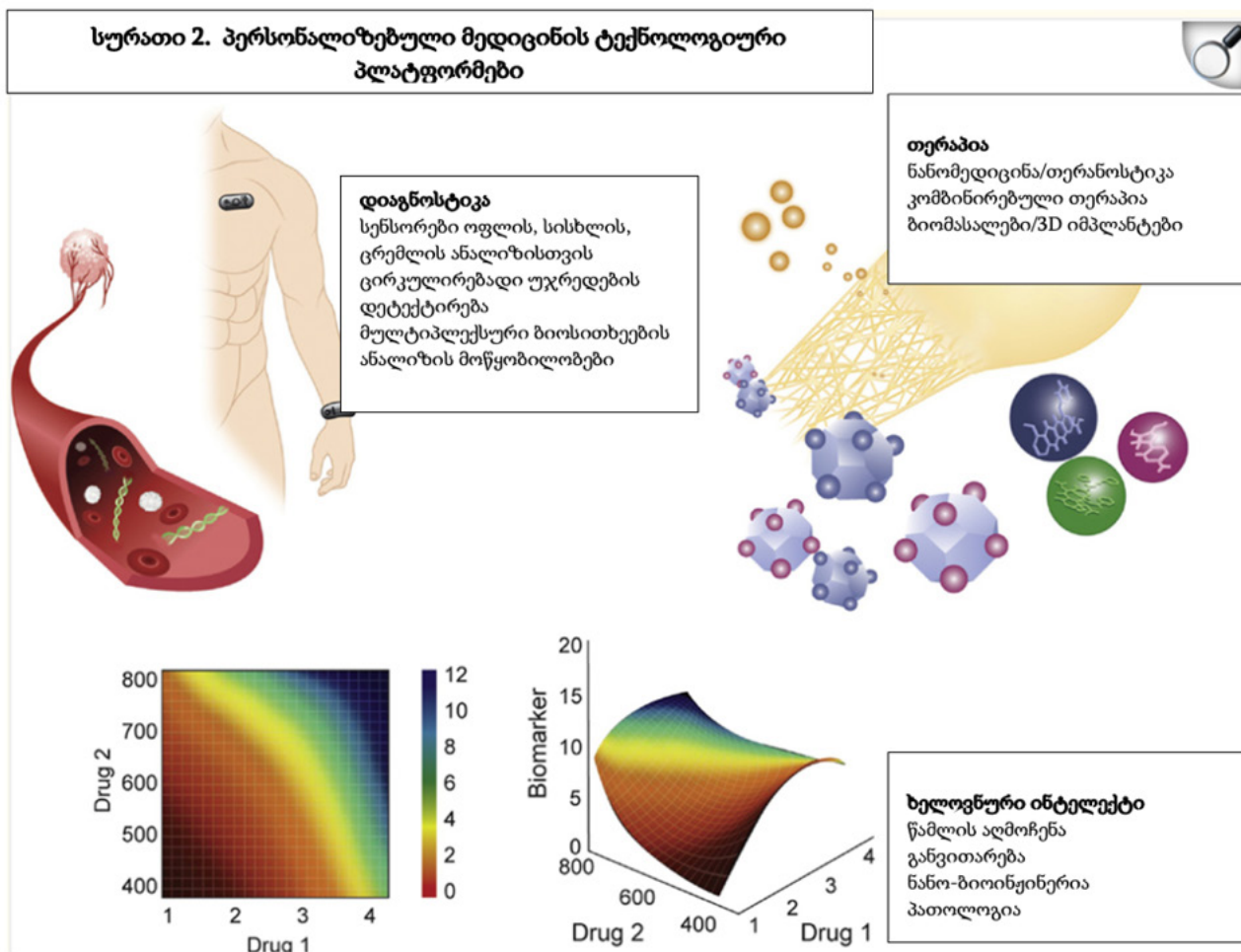
მედიცინაში გადადგმულია მნიშვნელოვანი ნა-
ბიჯები „ერთი პრეპარატი ყველასთვის“ მიდგომი-
დან ინდივიდუალურ მკურნალობაზე გადასასვლე-
ლად. ბიოინჟინრები ცდილობენ შექმნან პერსონა-
ლიზებული სამედიცინო პლატფორმები (სურათი
2), რომლებიც პაციენტის გენეტიკასა და ფიზიო-
ლოგიურ მახასიათებლებს დაეფუძნება. ბიოინჟინ-
რები სწავლობენ, თუ როგორ მოქმედებენ ბიომასა-
ლები ადამიანის ორგანიზმში სხვადასხვა პირო-
ბებში.

მაგალითად, დექსტრან-დენდრიმერული კომპო-
ზიტი განსხვავებულად ეკვრის ქსოვილებს კოლი-
ტისა და კოლორექტალური კიბოს დროს, რაც აჩ-
ვენებს, რომ ბიომასალის ეფექტურობა დამოკიდე-
ბულია კონკრეტულ დაავადებაზე. ამჟამად მიმდი-
ნარეობს „ორგანო-ჩიპზე“ პლატფორმების შემუ-
შავება, რაც შესაძლებელს ხდის ინდივიდუალური
ნამლის ტესტირებას. მაგალითად, მიკროფლუი-
დურ მოდელში ადამიანის ნაწლავის მიკროგარემო
იქნა გაკოპირებული, რამაც შესაძლებელი გახადა
ბაქტერიებისა და იმუნური უჯრედების ურთიერ-
ქმედების მონიტორინგი.

ინდივიდუალური მკურნალობის დასაგეგმად სა-
ჭიროა სწრაფი და ზუსტი რეაქციის შეფასება, რაც

ტრადიციული მეთოდების შემთხვევაში (მაგ., სის-
ხლის ანალიზი, MRI, CT) რთულია. ბიოსენსორები სა-
შუალებას მისცემს ექიმებს რეალურ დროში აკონტ-
როლონ პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობა.
გარდა ამისა, პერსონალიზებული მედიცინის გა-
ნვითარებას ხელს უწყობს დიგიტალური თერაპია,
რომელიც გამოიყენება ისეთი მდგომარეობების
სამკურნალოდ, როგორიცაა მეხსიერების დარღვე-
ვები, ნივთიერებების დამოკიდებულება და ყურა-
დლების დეფიციტი [2, 7, 8].

პერსონალიზებული და პრეციზიული მედიცინა
მნიშვნელოვნად ეყრდნობა რეგულაციური სტრუქ-
ტურების მოქნილობას, ინოვაციური ტექნოლოგიე-
ბის გამოყენებას და განათლების ინტეგრაციას.
კლინიკური კვლევების ახალი მოდელები, მონა-
ცემთა ანალიზის გაუმჯობესება და ინჟინერიის
ჩართულობა მნიშვნელოვნად დააჩქარებს პერსო-
ნალიზებული მედიცინის ფართო დანერგვას და გა-
ზრდის მისი ხელმისაწვდომობის ხარისხს. პერსო-
ნალიზებული მედიცინის ღირებულების დასამტკი-
ცებლად აუცილებელია: მკურნალობის შედეგების
გაუმჯობესება, გართულებების შემცირება და
ჯანდაცვის ხარჯების მკვეთრი შემცირება. ინჟინე-
რული მიდგომები პერსონალიზებულ მედიცინაში



ხელს შეუწყობს მედიკამენტების კვლევისა და განვითარების ხარჯების შემცირებას, მედიკამენტების ხელმისაწვდომობის გაზრდას და ჯანდაცვის საერთო ხარჯების ეფექტიან მართვას. ამ პროცესის წარმატებით განხორციელება მოითხოვს ტექნოლოგიების, მარეგულირებელი პოლიტიკის, განათლებისა და გლობალური კოორდინაციის სინერგიას [9, 10].

დასკვნა

მიუხედავად იმისა, რომ პაციენტების ფიზიოლოგია ინდივიდუალურად მნიშვნელოვნად განსხვავდება, მედიკამენტების განვითარება და პაციენტების მოვლა ძირითადად დაფუძნებულია ერთი და იმავე რეჟიმის დანერგვაზე ფართო, მრავალფეროვან პოპულაციაში. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია მედიკამენტების ინდივიდუალურად მორგებული გამოყენება, მაგრამ სტანდარტულად მკურნალობის პროცესში დოზირების თვითნებური ცვლილება კვლავ ხშირია. ეს ტრადიციული მიდგომა იწვევს პაციენტების არასრულფასოვან რეაგირებას მკურნალობაზე. პერსონალიზებული და პრეციზიული მედიცინის ერა ამ გამოწვევას წარმატებით გადაჭრის. მომავალში პაციენტები აღარ იქნებიან შეზღუდულნი მკურნალობის ერთიანი, ფიქსირებული მიდგომით, რომელიც ეფუძნება სამიზნე-პრეპარატების შერჩევას და დოზის თანდათანობით გაზრდას.

გარდა ტექნოლოგიური ინოვაციების განვითარებისა, აუცილებელია ჯანდაცვის ეკონომიკური, ეთიკური და მონაცემთა დაცვის საკითხების მოგვარება. მსოფლიოში ჯანდაცვის მზარდი ხარჯები ერთდროულად ქმნის როგორც ბარიერს, ასევე შესაძლებლობას ახალი ტექნოლოგიების კლინიკაში დანერგვისთვის. გადანყვეტილების მიმღებ პირებთან და ფინანსური პოლიტიკის განმსაზღვრელებთან თანამშრომლობა ამ პროცესისთვის გადამწყვეტი იქნება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Seyhan, A.A., Carini, C. Are innovation and new technologies in precision medicine paving a new era in patients centric care?. *J Transl Med* 17, 114 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12967-019-1864-7>
2. Ho D, Quake SR, McCabe ERB, Chng WJ, Chow EK,

Ding X, Gelb BD, Ginsburg GS, Hassenstab J, Ho CM, Mobley WC, Nolan GP, Rosen ST, Tan P, Yen Y, Zarrinpar A. Enabling Technologies for Personalized and Precision Medicine. *Trends Biotechnol.* 2020 May;38(5):497-518. doi: 10.1016/j.tibtech.2019.12.021. Epub 2020 Jan 21. PMID: 31980301; PMCID: PMC7924935.

3. Marques, L.; Costa, B.; Pereira, M.; Silva, A.; Santos, J.; Saldanha, L.; Silva, I.; Magalhães, P.; Schmidt, S.; Vale, N. Advancing Precision Medicine: A Review of Innovative In Silico Approaches for Drug Development, Clinical Pharmacology and Personalized Healthcare. *Pharmaceutics* 2024, 16, 332. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16030330>

4. Hong, J., Lee, D., Hwang, A. *et al.* Rare disease genomics and precision medicine. *Genom. Inform.* 22, 28 (2024). <https://doi.org/10.1186/s44342-024-00032--1>

5. Shiyue Zeng, Qi Qing. Personalized anesthesia and precision medicine: a comprehensive review of genetic factors, artificial intelligence, and patient-specific factors. *Front. Med.*, 09 May 2024. Sec. Precision Medicine. Volume 11 - 2024 | <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1365522>

6. Might M, Crouse AB. Why rare disease needs precision medicine-and precision medicine needs rare disease. *Cell Rep Med.* 2022 Feb 15;3(2):100530. doi: 10.1016/j.xcrm.2022.100530. PMID: 35243424; PMCID: PMC8861960.

7. Shemie G, Nguyen MT, Wallenburg J, Ratjen F, Knoppers BM. The equitable implementation of cystic fibrosis personalized medicines in Canada. *J Pers Med.* 2021;11(5):380

8. Molla, Getnet, and Molalegne Bitew. 2024. "Revolutionizing Personalized Medicine: Synergy with Multi-Omics Data Generation, Main Hurdles, and Future Perspectives" *Biomedicines* 12, no. 12: 2750. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12122748>

9. N.L. Swathi. Precision Medicine: Insights From Case Studies and Cutting-Edge Technologies. March 2022

10. DOI:10.4018/979-8-3693-2105-8.ch017. In book: Medical Robotics and AI-Assisted Diagnostics for a High-Tech Healthcare Industry (pp.257-280). Edition: 1. Chapter: 17. Publisher: IGI GLOBAL

11. Luca Chiapperino. Editorial: Personalized health and precision medicine in practice. *Front. Sociol.*, 19 February 2024 Sec. Medical Sociology. Volume 9 - 2024 | <https://doi.org/10.3389/fsoc.2024.1367789>