

მობილური აპლიკაციების და ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება მიზანმიმართული თერაპიის ოპტიმიზაციისთვის

ნანა შაშიაშვილი

სტუ-ს ასოცირებული პროფესორი

ნინო ბაკრაძე

ბრემენის უნივერსიტეტის სტუდენტი

აბსტრაქტი

პერსონალიზებული და ზუსტი (პრეციზიული) მედიცინა ეფუძნება ფართო სპექტრის ინფორმაციას, რათა უზრუნველყოს ქმედითი ჯანდაცვის მართვა. მედიცინის განვითარებისთვის მნიშვნელოვანია ისეთი მონაცემების გამოყენება, როგორიცაა ჯანმრთელი პირების გრძელვადიანი დაკვირვება, რათა გავიგოთ, როგორ გადადის ორგანიზმი დაავადებულ მდგომარეობაში, დაავადების განვითარების მაღალი რისკის მქონე პირების იდენტიფიცირება და მკურნალობის პერსონალიზაცია ინდივიდუალური და პოპულაციური მონაცემთა ბაზების საფუძველზე. ამ მონაცემებს შეიცავს გენეტიკური მონაცემთა ბაზები, სამედიცინო ჩანაწერები, ქსოვილების ბანკები და სხვა კლინიკური „დიდი მონაცემები“. პარალელურად, კომპიუტერული გამოთვლის შესაძლებლობების გაფართოება გვაძლევს საშუალებას, უკეთესად დავამუშავოთ ეს მონაცემები და დავაკავშიროთ ერთმანეთთან. ტექნოლოგიებისა და ხელოვნური ინტელექტის შერწყმით შესაძლებელია მკურნალობისა და მონიტორინგის ინდივიდუალიზაციის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. ამ მიდგომების ერთიანი მახასიათებელია ის, რომ ისინი მხოლოდ კონკრეტული ადამიანის მონაცემებზე დაყრდნობით მხოლოდ მისი მკურნალობის მართვის შესაძლებლობას ქმნიან. ეს განსაკუთრებით აშკარაა ხელოვნური ინტელექტით (AI) მართული მედიკამენტების დოზირების და ინჟინერიული უჯრედული თერაპიის შემთხვევაში. უფრო მეტიც, ინჟინერიასა და პერსონალიზებულ მედიცინას შორის დამაკავშირებელი ფაქტორია ის, რომ დიაგნოსტიკა და მკურნალობა შესაძლებელია ეტაპობრივად შეიცვალოს ოპტიმალური შედეგის მისაღწევად.

საკვანძო სიტყვები: პერსონალიზებული მედიცინა, ხელოვნური ინტელექტი.

USING MOBILE APPLICATIONS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE TARGETED THERAPY

Nana Shashiashvili

Assoc. Professor of GTU

Nino Bakradze

Student, University of Bremen, Germany

ABSTRACT

Personalized and precision medicine is based on a wide range of information to ensure effective healthcare management. For the development of medicine, it

is important to use data such as long-term observation of healthy individuals to understand how the body is transmitted to the disease, identify people at high risk of developing the disease, and personalize treatment based on individual and population databases. This data contains genetic databases, medical records, tissue banks, and other clinical “big data”. At the same time, the expansion of computer computing capabilities enables us to better process and connect these data with each other. By combining technologies and artificial intelligence, it is possible to significantly improve the individualization of treatment and monitoring. A single feature of these approaches is that they only create the ability to manage his treatment based on the data of a particular person. This is especially evident in the case of AI-driven drug dosing and engineering cell therapy. Moreover, the connecting factor between engineering and personalized medicine is that diagnostics and treatment can be gradually changed to achieve optimal results.

Keywords: Artificial Intelligence, Personalized Medicine.

შესავალი

მიზანმიმართული თერაპიის ოპტიმიზაციის ერთ-ერთი მთავარი პრობლემა იმ დოზების განსაზღვრაა, რომლებიც კონკრეტული პაციენტისთვის ოპტიმალურია. ეს გამოწვევა განსაკუთრებით აქტუალურია, რადგან მკურნალობის პროცესში დოზირების მოთხოვნები ხშირად იცვლება. კომბინირებული თერაპიის შემთხვევაში ეს საკითხი კიდევ უფრო რთულდება, რადგან დოზირების პარამეტრების სივრცე ფაქტობრივად უსაზღვროა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ტრადიციული მიდგომა იწყება პრეპარატის შერჩევით, შემდეგ ტარდება დოზის ეტაპობრივი ზრდის (MTD) კვლევები, რათა განისაზღვროს მაქსიმალურად დასაშვები დოზა. MTD არის ყველაზე მაღალი დოზა, რომელიც პაციენტისთვის უსაფრთხოდ შეიძლება დაინიშნოს ტოქსიკურობის მიუღებელი დონის გარეშე. პერსონალიზებული მედიცინის კვლევები აჩვენებს, რომ შესაძლოა უფრო დაბალი დოზებით უკეთესი ეფექტურობა და უსაფრთხოება მიიღწეს, რაც ამცირებს MTD-ის საჭიროებას. ეფექტური მკურნალობის შანსის გასაზრდელად გამოიყენება პრეპარატების ურთიერთქმედების მოდელირება და სხვა

კომპიუტერული მეთოდები. თუმცა, რადგან პრეპარატების შენთვის, მეტაბოლიზმისა და მოქმედების ყველა გენეტიკური ფაქტორი ჯერ კიდევ უცნობია, არასწორად შერჩეულმა დოზამ შეიძლება მკურნალობის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად შეამციროს.

ძირითადი ტექსტი

ფენოტიპური პერსონალიზებული მედიცინა (PPM) - იყენებს ხელოვნურ ინტელექტს (AI) პაციენტზე მორგებული კომბინირებული თერაპიის დასაგეგმად. ამ მეთოდს უკვე მიმართავენ პილოტურ კლინიკურ კვლევებში ტუბერკულოზის, აივ ინფექციის, ღვიძლისა და თირკმლის ტრანსპლანტაციის, ჰემატოლოგიური კიბოსა და სხვა დაავადებების მკურნალობაში. ზოგადად, ჯანდაცვის კონტექსტში, AI იყენებს ალგორითმებს კომპლექსური მონაცემების დასამუშავებლად, რათა შექმნას ქმედითი სტრატეგიები სხვადასხვა დანიშნულებისთვის, მათ შორის მკურნალობის შედეგების გაუმჯობესებისა და მედიკამენტების აღმოჩენის პროცესის დაჩქარებისთვის.

ხელოვნური ინტელექტი (AI) და მანქანური სწავლება (ML) უკვე გამოიყენება პრეპარატების კომბინირებული თერაპიის დოზირების განსაზღვრისთვის. ML პლატფორმები იყენებენ ალგორითმებს, რომლებიც მონაცემთა ნაკრების საფუძველზე შემდგომი პროგნოზების ან გადანაცვლების მიღებას შეძლებენ უშუალო მითითებების გარეშე. ჯანდაცვის სფეროში, ML შეიძლება გამოყენებულ იქნას, მაგალითად, მედიკამენტების კომბინაციების დიზაინის განვითარებაში. კვადრატული ფენოტიპური ოპტიმიზაციის (QPOP) ალგორითმი დაეხმარა მკვლევრებს ონკოლოგიური პრეპარატების ისეთი კომბინაციების აღმოჩენაში, რომლებიც არსებულ სამკურნალო მეთოდებზე ბევრად უკეთესი შედეგებით გამოირჩეოდა. კვადრატული ფენოტიპური ოპტიმიზაციის პლატფორმა (QPOP)- AI-პლატფორმაა, რომელიც საშუალებას აძლევს მეცნიერებს ერთდროულად განსაზღვრონ მედიკამენტების სწორი კომბინაციები და შესაბამისი დოზები დიდი რაოდენობის პრეპარატების ბაზიდან. მაგალითად, CURATE.AI პლატფორმის გამოყენებამ წინასწარ განსაზღვრა პროსტატის კიბოს მკურნალობის ოპტიმალური კომბინაცია, რამაც მნიშვნელოვნად შეამცირა პრეპარატის დოზა და მკურნალობის ეფექტურობა გაზარდა. CURATE.AI მექანიზმისგან დამოუკიდებელი ხელოვნური ინტელექტის პლატფორმაა, რომელიც კლინიკური კომბინირებული თერაპიის დოზირების ოპტიმიზაციას ახდენს. ის პაციენტის მონაცემებზე დაყრდნობით ინდივიდუალურად მართავს მკურნალობის პროცესს, ზრდის ეფექტურობასა და უსაფრთხოებას, განსაკუთრებით ონკოლოგიასა და ინფექციურ დაავადებებში. [1,2,3].

პერსონალიზებული თერაპიის ეფექტურობის გასაზრდელად აუცილებელია მუდმივი და ზუსტი

მონაცემების შეგროვება. ამისთვის სულ უფრო მეტად გამოიყენება ტარებადი (wearable) და იმპლანტირებადი მონაცემილობები. უახლესი ტარებადი მონაცემილობები უკვე გვთავაზობს:

- ბატარეის გარეშე მომუშავე მონაცემილობებს სისხლის ჟანგბადისა და გულისცემის გასაზომად
- ოფლის, ცრემლებისა და ნერწყვის ანალიზს, რომელიც სისხლში ნივთიერებების კონცენტრაციის დადგენის საშუალებას იძლევა
- ინსულინის დახურულ-ციკლური (closed-loop) მინოდების მონაცემილობებს, რომლებიც ალგორითმების საშუალებით აკონტროლებენ სისხლში შაქრის დონეს

ასეთი მონაცემილობები ტესტირდება სხვადასხვა დაავადებების მონიტორინგისთვის, მაგალითად, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების, COPD-ის (ქრონიკული ობსტრუქციული ფილტვის დაავადება) და გულის არითმიების მართვისთვის [4,5].

FDA-ის მიერ დამტკიცებული მობილური აპლიკაციები გამოიყენება ტვინის ჯანმრთელობის შესწავლისთვის, რათა განვითარდეს ინტერვენციული მეთოდები ისეთი დაავადებების სამკურნალოდ, როგორებიცაა დემენცია, დეპრესია და ალცჰაიმერის დაავადება. კლინიკური გამოკვლევები სულ უფრო მეტად იყენებს ციფრულ მედიცინას, რადგან ტრადიციული კლინიკური ტესტირება გარკვეულ შეზღუდვებს აწყდება: ტესტირება იშვიათად ტარდება (წელიწადში ერთხელ) და გარემო შეიძლება ხელოვნურად აღქმული იყოს; პაციენტების სტრესის დონე, ძილის რეჟიმი და დღის მონაკვეთი გავლენას ახდენს კოგნიტურ შედეგებზე; ტესტების შედეგები შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს სხვადასხვა დღეებში, რაც განსაკუთრებით შესაძენეია ალცჰაიმერის მქონე პაციენტებში.

ამ შეზღუდვების დასაძლევად, კვლევები მიმართულია სმარტფონებით ჩატარებულ შეფასებებზე, რაც უფრო ხშირად და რეალურ გარემოში ტესტირების საშუალებას იძლევა. ასეთ მეთოდში პაციენტები რამდენიმე დღეში მრავალჯერ ასრულებენ 30-60 წამიანი ტესტების "ბლოკებს", რაც კვლევის შედეგებს უფრო სანდოს ხდის. ამასთან, მობილური და სატარებელი (wearable) მონაცემილობებით მონაცემთა შეგროვება აუმჯობესებს დიაგნოსტიკას და პაციენტებს საშუალებას აძლევს, თვითონ აკონტროლონ თავიანთი ჯანმრთელობა, რაც ამცირებს კლინიკებში ხშირი ვიზიტების საჭიროებას. მონაცემების ანალიზი კი ხელს უწყობს როგორც პერსონალიზებული, ისე პრეციზიული მედიცინის განვითარებას [6, 7].

პერსონალიზებულ მედიცინაში მნიშვნელოვან მიღწევად ითვლება CAR-T (ქიმერული ანტიგენური რეცეპტორით) უჯრედული იმუნოთერაპია, რაც პაციენტის T-უჯრედების მოდიფიცირებას გულისხმობს ქიმერული ანტიგენური რეცეპტორების (CAR) დამატებით. მოდიფიცირებული T-უჯრედები შემდეგ გამოიყენება კიბოს უჯრედების სამიზნედ,

რადგან ისინი ამოცნობენ და უტყვენ კიბოს უჯრედებზე არსებულ შესაბამის მარკერებს. ის გამოიყენება ზოგიერთი სახის კიბოს სამკურნალოდ. ამ პროცესში:

1. პაციენტის იმუნური (T) უჯრედები ლაბორატორიაში გადაგზავნამდე აიღება.

2. უჯრედები სპეციალურად მუშავდება და მრავლდება.

3. დამუშავებული უჯრედები კვლავ შეჰყავთ ორგანიზმში, რათა მათ კიბოს უჯრედები გაანადგურონ.

აღნიშნული მეთოდი უკვე გამოიყენება ლეიკემიისა და ლიმფომის სამკურნალოდ და კვლევები მიმდინარეობს მისი სხვა კიბოს სახეობებზე გავრცელებისთვის. ამასთან, პერსონალიზებული მედიცინის პერსპექტივაში იგეგმება:

- **გენის რედაქტირების ტექნოლოგიების (CRISPR, ZFN) გამოყენება**, რათა შეიქმნას უფრო ხელმისაწვდომი და ფართოდ გამოსაყენებელი უჯრედული თერაპია.

- **ინდივიდუალური პლურიპოტენტური ღეროვანი უჯრედების (iPSCs) გამოყენება** სხვადასხვა დაავადებების, მათ შორის დიაბეტის, თირკმლის დაავადებებისა და ნერვული სისტემის დაზიანებების სამკურნალოდ.

- **მიტოქონდრიული ჩანაცვლებითი თერაპია (MRT)**, რომელიც გენეტიკური დაავადებების თავიდან ასაცილებლად უკვე დაინერგა დიდ ბრიტანეთში. ეს მეთოდი გამოიყენება მიტოქონდრიული დაავადებების სამკურნალოდ, როდესაც დაზიანებული მიტოქონდრიები იცვლება ჯანმრთელით. რეპროდუქციული მედიცინის კონტექსტში, დედის დაავადებული მიტოქონდრიების შემცველი კვერცხუჯრედის გადანერგვა ხდება დონორის კვერცხუჯრედში, რომელიც ჯანმრთელ მიტოქონდრიებს შეიცავს.

პერსონალიზებული მედიცინა მოიცავს ინოვაციური ტექნოლოგიების გამოყენებას, მაგალითად: 3D გამოსხულებით მედიკამენტების ზუსტი დროული გამოთავისუფლება, ნანოტექნოლოგიებით შექმნილი მედიკამენტების კომბინირებული თერაპია, ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენება, რათა ოპტიმალური მედიკამენტური დოზები განისაზღვროს კონკრეტული პაციენტისთვის [7].

პერსონალიზებული მედიცინის ფართოდ დანერგვა საჭიროებს რეგულაციური მიდგომების გადახედვას. ახალი მეთოდები მოითხოვს: გენომური და პროტეომული ნიშნების გამოყენებას მკურნალობის პერსონალიზაციისთვის; ბაიესიანური (Bayesian) ანალიზის დანერგვას კლინიკურ კვლევებში, რათა მკურნალობის სარგებელი და რისკები უფრო ზუსტად შეფასდეს; ხელოვნური ინტელექტისა და მანქანური სწავლების (ML) ინტეგრირებას კლინიკური კვლევების დიზაინში, რაც შეამცირებს პაციენტთა რაოდენობის საჭიროებას და დაჩქარებს მედიკამენტების დამტკიცებას. ამ

პროცესების განვითარება პერსონალიზებული მედიცინის ფართოდ დანერგვას ხელს შეუწყობს და გახდის მკურნალობას უფრო ეფექტურს და მორგებულს პაციენტის ინდივიდუალურ მახასიათებლებზე [8].

მედიკამენტებისა და სამედიცინო მოწყობილობების დამტკიცების პროცესის მოდერნიზაცია მეცნიერების ევოლუციას შეუწყობს ხელს. საჭიროა რეგულაციებთან დაკავშირებული ცნობიერების ამაღლება და ახალი, მოქნილი მიდგომების დანერგვა, რათა სწრაფად განვითარებადი ტექნოლოგიები დროულად მიენდოს პაციენტებს. ამასთან, საჭიროა ისეთი საკითხების გადაჭრა, როგორებიცაა მედიკამენტების ფასი, ხელმისაწვდომობა და პერსონალიზებული მკურნალობის ინდივიდუალური რეჟიმების რეგულირება. FDA-მ აღიარა, რომ რეგულაციური ფოკუსი შესაძლოა შეიცვალოს მხოლოდ ეფექტურობის შეფასებიდან გრძელვადიანი უსაფრთხოებისა და ახალი ტექნოლოგიების პოტენციური გვერდითი ეფექტების შესწავლისკენ. ამ მიდგომის საფუძველი გახდა 21st Century Cures Act, რომელიც 2016 წელს მიიღეს აშშ-ში და რომელმაც დააფინანსა FDA-ს პროგრამები პერსონალიზებული მედიცინისა და ინოვაციური სამედიცინო მოწყობილობების დაჩქარებული დამტკიცებისთვის [9].

მსოფლიო მასშტაბით პერსონალიზებული მედიცინის განვითარებაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სხვადასხვა ორგანიზაციებისა და მთავრობების ერთობლივი ძალისხმევა: AI Singapore ავითარებს ხელოვნური ინტელექტისა (AI) და მანქანური სწავლების (ML) ინტეგრაციას კლინიკურ კვლევებში და სამედიცინო დახმარების ოპტიმიზაციაში; ევროკავშირის ინოვაციური მედიკამენტების ინიციატივა (IMI) ებრძვის ანტიმიკრობულ რეზისტენტობას, გრიპის ვაქცინების საჭიროებას და ღვიძლის არაოქტოპური ცხიმოვანი დაავადების (NAFLD) მზარდ შემთხვევებს; TOPMed და All of Us პროგრამები მიზნად ისახავს კლინიკური კვლევების მრავალფეროვნების გაზრდას და მონაცემთა გაზიარების გაფართოებას, რათა პრეციზიული მედიცინა ყველა პაციენტისთვის ხელმისაწვდომი გახდეს.

პერსონალიზებული და პრეციზიული მედიცინის მხარდამჭერი ტექნოლოგიები გვაძლევს უნიკალურ შესაძლებლობებს დაავადებების იდენტიფიცირებისა და მონიტორინგისთვის. ეს ტექნოლოგიები უზრუნველყოფს: დაავადებების ზუსტ დიაგნოსტიკას; დიდი მოცულობის სამედიცინო ჩანაწერების (EMR) მონაცემთა ანალიზს ახალი თერაპიული მიდგომების საპოვნელად; ბიომარკერების იდენტიფიცირებას, რომლებიც დაავადების მდგომარეობას ასახავს; მკურნალობის ეფექტურობის უწყვეტ მონიტორინგს ტარებადი ტექნოლოგიების საშუალებით; ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენებას, რათა მკურნალობის პროცესში, ფიზიოლოგიის ცვლილებების შესაბამისად, განისაზღვროს საუკე-

თესო მედიკამენტები (ქიმიოთერაპია, იმუნოთერაპია, ნანოთერაპია და სხვა) და მათი ოპტიმალური დოზები [10].

პერსონალიზებული მედიცინის წარმატებული დანერგვა მოითხოვს კვლევითი პროცესების მოდერნიზაციას, მათ შორის:

- “Omics” მონაცემთა უწყვეტი მონიტორინგი, რათა განისაზღვროს გარემოს ზემოქმედება დაავადების რისკზე.

- AI და ელექტრონული სამედიცინო ჩანაწერების (EMR) ინტეგრაცია, რაც ხელს შეუწყობს კლინიკური გადაწყვეტილებების მხარდაჭერას (CDS პლატფორმები იყენებს ფართო მონაცემებს და ექიმებს სთავაზობს ქმედით რეკომენდაციებს, როგორცაა მედიკამენტების შერჩევა, დოზის კორექტირება და მკურნალობის სხვა მიმართულებები)

- ახალი კვლევითი დიზაინები, რომლებიც ორიენტირებული იქნება კონკრეტულ ქვე-პოპულაციებზე და მოიცავს დიაგნოსტიკისა და მკურნალობის კომბინირებულ მიდგომებს.

განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა Precision Oncology Network (Open) პროგრამას, რომელიც მიზნად ისახავს ონკოლოგიური პაციენტებისთვის ხელმისაწვდომი კვლევების გაძლიერებას და მონაცემთა გაზიარების მხარდაჭერას. პერსონალიზებული მედიცინის კლინიკურ პრაქტიკაში ინტეგრაციისთვის მნიშვნელოვანია ინჟინერიისა და სამედიცინო განათლების გაერთიანება. ისეთი პროგრამები, როგორცაა Carle Illinois College of Medicine, Texas A&M-ის EnMed ინიციატივა, University of California, San Francisco-ს Translational Medicine პროგრამა [11].

დასკვნა

ხელოვნური ინტელექტის (AI) როლი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს როგორც მედიკამენტების კომბინირებული დანიშნულების ოპტიმიზაციაში, ასევე დაავადებების ბიოლოგიური მექანიზმების უკეთ გაგებაში. მომავალში AI-ის განვითარება პერსონალიზებული მედიცინის ერთ-ერთ ძირითად ქვაკუთხედად იქცევა, რაც გააუმჯობესებს მკურნალობის სიზუსტეს, შეამცირებს გვერდით ეფექტებს და გაზრდის პაციენტთა სიცოცხლის ხარისხს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Hamed Taherdoost, Alireza Ghofrani, AI's role in revolutionizing personalized medicine by reshaping pharmacogenomics and drug therapy, Intelligent Phar-

macy, Volume 2, Issue 5, 2024, Pages 643-650, ISSN 2949-866X

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. Bhinder B, Gilvary C, Madhukar NS, Elemento O. Artificial Intelligence in Cancer Research and Precision Medicine. *Cancer Discov.* 2021 Apr;11(4):900-915. doi: 10.1158/2159-8290.CD-21-0090. PMID: 33811123.

4. Kee, T., Weiyan, C., Blasiak, A., Wang, P., Chong, J.K., Chen, J., Yeo, B.T., Ho, D. and Asplund, C.L., 2019. Harnessing CURATE. AI as a digital therapeutics platform by identifying N-of-1 learning trajectory profiles. *Advanced Therapeutics*, 2(9), p.1900023.

5. ing, D.S., Liu, Y., Burlina, P., Xu, X., Bressler, N.M. and Wong, T.Y., 2018. AI for medical imaging goes deep. *Nature medicine*, 24(5), pp.539-540.

6. Ngiam, K.Y. and Khor, W., 2019. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery. *The Lancet Oncology*, 20(5), pp.e262-e273.

7. Tian, X., Lee, P.M., Tan, Y.J., Wu, T.L., Yao, H., Zhang, M., Li, Z., Ng, K.A., Tee, B.C. and Ho, J.S., 2019. Wireless body sensor networks based on metamaterial textiles. *Nature Electronics*, 2(6), pp.243-251.

8. Popejoy, A.B. and Fullerton, S.M., 2016. Genomics is failing on diversity. *Nature*, 538(7624), pp.161-164.

9. Fang, H., Harris, S.C., Liu, Z., Zhou, G., Zhang, G., Xu, J., Rosario, L., Howard, P.C. and Tong, W., 2016. FDA drug labeling: rich resources to facilitate precision medicine, drug safety, and regulatory science. *Drug discovery today*, 21(10), pp.1566-1570.

10. Marc Ghanem, Abdul Karim Ghaith, Mohamad Bydon, Chapter 6 - Artificial intelligence and personalized medicine: transforming patient care, Editor(s): Mohamad Bydon, The New Era of Precision Medicine, Academic Press, 2024, Pages 131-142, ISBN 9780443139633

11. Reddy, S., Allan, S., Coghlan, S. and Cooper, P., 2020. A governance model for the application of AI in health care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(3), pp.491-497.