LITERATURE REVIEW

SUMMARY

Phagava Helen, Kvirikashvili Mariam, Mchedlishvili Irakli

ENABLING AND DISABLING FACTORS FOR PHYSICAL ACTIVITY

TSMU, DEPARTMENT OF EPIDEMIOLOGY AND BIOSTATISTICS

Background: Physical inactivity remains a major public health concern worldwide. Identifying determinants that influence physical activity is essential for developing effective interventions.

Objective: To review enabling and disabling factors affecting physical activity.

Methods: A narrative review of recent literature was conducted. Determinants were organized according to a socio-ecological framework.

Results: Enablers included intrinsic motivation, self-regulation, social support, organized programs, and healthcare recommendations. Barriers comprised time constraints, health conditions, financial limitations, sedentary behavior, and psychological factors. Environmental and structural determinants, such as infrastructure, workplace conditions, and seasonality, showed context-dependent effects.

Conclusion: Physical activity is influenced by interconnected multilevel determinants. Integrated strategies targeting individual, social, and structural factors are required to reduce physical inactivity.

ფაღავა ელენე, მჭედლიშვილი ირაკლი

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია: კონცეპტუალური საფუძვლები და განვითარების ძირითადი მიმართულებები

თსსუ, ეპიდემიოლოგიისა და ბიოსტატისტიკის დეპარტამენტი

შესავალი. თანამედროვე საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის წინაშე მდგარი გამოწვევები მნიშვნელოვნად გასცდა იმ ჩარჩოებს, რომლებშიც ტრადიციული ეპიდემიოლოგია ჩამოყალიბდა. ინფექციური დაავადებების სწრაფი გლობალური გავრცელება, მოსახლეობის მაღალი მობილობა, ურბანიზაცია, კლიმატური ცვლილებები და ქრონიკული არაგადამდები დაავადებების მზარდი ტვირთი საჭიროებს დაავადებების გავრცელების უფრო ზუსტ, დროულ და სივრცეზე ორიენტირებულ ანალიზს (2). ამ კონტექსტში განსაკუთრებული მნიშვნელობა შეიძინა სივრცითმა ეპიდემიოლოგიამ, ხოლო ციფრული ტექნოლოგიების განვითარებამ მისთვის ახალი შესაძლებლობები შექმნა.

ციფრული ეპოქის პირობებში ჯანმრთელობასთან დაკავშირებული მონაცემები წარმოიქმნება არა მხოლოდ ჯანდაცვის სისტემის ფარგლებში, არამედ მის გარეთაც - ყოველდღიური ციფრული აქტივობების შედეგად. მობილური ტელეფონები, სატელიტური სისტემები, ელექტრონული ჩანაწერები, გენომური სეკვენსირება და სხვადასხვა ციფრული პლატფორმა ქმნის მონაცემთა მასიურ ნაკადებს, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას დაავადებების სივრცით-დროითი დინამიკის შესასწავლად (1). სწორედ ამ პროცესების შედეგად ჩამოყალიბდა ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია, როგორც თანამედროვე ეპიდემიოლოგიის ერთ-ერთი სწრაფად განვითარებადი მიმართულება.

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია წარმოადგენს ინტერდისციპლინურ მიდგომას, რომელიც აერთიანებს კლასიკურ სივრცით ეპიდემიოლოგიას, ციფრულ მონაცემთა ანალიზს, გეოინფორმაციულ სისტემებსა და თანამედროვე გამოთვლით მეთოდებს. მისი მიზანია დაავადებების გავრცელების სივრცითი ნიმუშების უკეთ გაგება, რისკების პროგნოზირება და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის გადაწყვეტილებების მეცნიერულად გამყარება (4).

სივრცითი ეპიდემიოლოგიის განვითარების მოკლე ისტორია. სივრცითი აზროვნება ეპიდემიოლოგიის საფუძვლებში თავიდანვე იყო ჩართული. დაავადებების გეოგრაფიული განაწილების აღწერა ისტორიულად ერთ-ერთი პირველი ინსტრუმენტი იყო მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესასწავლად. კლასიკური მაგალითია მე-19 საუკუნეში განხორციელებული ქოლერის ეპიდემიის კვლევა, როდესაც ჯ. სნოუს მიერ დაავადების გავრცელების ტერიტორიულმა შესწავლამ შესაძლებელი გახადა ეპიდემიის გამომწვევი მიზეზების იდენტიფიცირება, რაც სივრცითი ეპიდემიოლოგიის საწყის ეტაპად მიიჩნევა (6).

მე-20 საუკუნის მეორე ნახევრიდან სივრცითი ეპიდემიოლოგია თანდათან ჩამოყალიბდა როგორც

დამოუკიდებელი მიმართულება. ამ პერიოდში განვითარდა სივრცითი სტატისტიკა და გეოგრაფიული მეცნიერებები, რამაც ხელი შეუწყო დაავადებების გეოგრაფიული გავრცელების სისტემურ შესწავლას. სივრცითი ეპიდემიოლოგიის მთავარი ამოცანა იყო დაავადებების ინციდენტობისა და სიკვდილიანობის სივრცითი განაწილების აღწერა, კლასტერული ზონების გამოვლენა და გარემო ფაქტორებთან კავშირების შეფასება (5).

თავდაპირველად სივრცითი ეპიდემიოლოგია ძირითადად ინფექციურ დაავადებებზე იყო ორიენტირებული. თუმცა, დაავადებათა სტრუქტურის გლობალურმა ცვლილებამ და ქრონიკული არაგადამდები დაავადებების ზრდამ მისი გამოყენების არეალი გააფართოვა. სივრცითი მეთოდები წარმატებით იქნა გამოყენებული კიბოს, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებისა და სხვა ქრონიკული პათოლოგიების გეოგრაფიული გავრცელების განსხვავებების შესასწავლად (4).

მნიშვნელოვანი გარდატეხა მოხდა გეოინფორმაციული სისტემების (GIS) განვითარებასთან ერთად. GIS-მა შესაძლებელი გახადა სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემების ერთიან სივრცით ჩარჩოში ინტეგრაცია, რაც სივრცითი ანალიზის სიზუსტესა და ვიზუალიზაციის შესაძლებლობებს მნიშვნელოვნად ზრდიდა (6). მიუხედავად ამისა, კლასიკური სივრცითი ეპიდემიოლოგია კვლავ დიდწილად ეყრდნობოდა აგრეგირებულ მონაცემებს და შედარებით შეზღუდული იყო დროში ცვლილებების ოპერატიულად ასახვის თვალსაზრისით.

ციფრული ეპიდემიოლოგიის ცნება და თავისებურებები. ციფრული ეპიდემიოლოგია ჩამოყალიბდა როგორც პასუხი იმ გამოწვევებზე, რომლებიც მონაცემთა მოცულობის, სისწრაფისა და მრავალფეროვნების ზრდამ წარმოშვა. მისი ერთ-ერთი ძირითადი განმასხვავებელი ნიშანია ისეთი მონაცემების გამოყენება, რომლებიც თავიდანვე არ ყოფილა ეპიდემიოლოგიური კვლევების მიზნებისთვის შეგროვებული (3).

ციფრული ეპიდემიოლოგიისთვის დამახასიათებელია რეალურ დროში ანალიზის შესაძლებლობა. ტრადიციული ეპიდემიოლოგიური ზედამხედველობა ხშირად ეფუძნება დაგვიანებულ ანგარიშებსა და ფორმალურ სტატისტიკურ სისტემებს, მაშინ როდესაც ციფრული მონაცემები საშუალებას იძლევა დაავადების გავრცელების ადრეული სიგნალები დროულად დაფიქსირდეს (2). ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეპიდემიური აფეთქებებისა და პანდემიების დროს.

ამავე დროს, ციფრული ეპიდემიოლოგია არ ცვლის ტრადიციულ ეპიდემიოლოგიას, არამედ ავსებს მას. კლასიკური მეთოდები კვლავ აუცილებელ საფუძვლად რჩება მიზეზობრივი კავშირების დასადგენად და შედეგების სწორი ინტერპრეტაციისთვის (1). ციფრული მიდგომების მთავარი ღირებულება მდგომარეობს დამატებითი სივრცითი და დროითი ინფორმაციის მიწოდებაში, რომელიც საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ანალიზს ამდიდრებს.

ციფრული ეპიდემიოლოგიის განვითარებამ გააჩინა ახალი მეთოდოლოგიური და ეთიკური საკითხებიც, მათ შორის მონაცემთა კონფიდენციალობის დაცვა, ალგორითმული გადაწყვეტილებების სანდოობა და „ცოდნის" წარმოქმნა ადამიანის უშუალო ინტერპრეტაციის გარეშე, რაც განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის კონტექსტში (3).

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის განსაზღვრება. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია წარმოადგენს ეპიდემიოლოგიის ინტერდისციპლინურ მიმართულებას, რომელიც სწავლობს დაავადებების გავრცელების სივრცით და დროით კანონზომიერებებს ციფრულად გენერირებული მონაცემების გამოყენებით. ის აერთიანებს სივრცითი ეპიდემიოლოგიის თეორიულ ჩარჩოს, ციფრული ეპიდემიოლოგიის მონაცემთა წყაროებსა და თანამედროვე ანალიტიკურ მეთოდებს, მათ შორის გეოინფორმაციულ სისტემებსა და გამოთვლით მოდელირებას (4, 6).

ტრადიციული სივრცითი ეპიდემიოლოგია ძირითადად ეყრდნობოდა ოფიციალურ სტატისტიკურ მონაცემებს, რომლებიც ხშირად აგრეგირებული იყო ადმინისტრაციული ერთეულების მიხედვით. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია ამ მიდგომას აფართოებს და მოიცავს მაღალი სივრცითი და დროითი გარჩევადობის მქონე მონაცემებს, რაც დაავადების გავრცელების უფრო დეტალური სურათის მიღების საშუალებას იძლევა (5).

ამ მიდგომის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა სივრცისა და დროის ერთობლივი ანალიზი. დაავადების გავრცელება იშვიათად არის მხოლოდ სივრცითი ან მხოლოდ დროითი მოვლენა; ის წარმოადგენს დინამიკურ პროცესს, რომელიც დამოკიდებულია მოსახლეობის გადაადგილებაზე, სოციალურ კონტაქტებზე და გარემო ფაქტორებზე. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია სწორედ ამ დინამიკის შესწავლაზეა ორიენტირებული (2).

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის მონაცემთა ძირითადი წყაროები. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის განვითარების საფუძველს წარმოადგენს მონაცემთა მრავალფეროვანი წყაროები, რომლებიც განსხვავდება როგორც წარმოშობის, ისე სტრუქტურის მიხედვით:

• მოსახლეობის მობილობის მონაცემები - მობილური ტელეფონების მიერ გენერირებული მონაცემები ერთ-ერთ ყველაზე ფართოდ გამოყენებად წყაროს წარმოადგენს მოსახლეობის გადაადგილების შესასწავლად. ასეთი მონაცემები იძლევა ინფორმაციას ადამიანთა გადაადგილების მიმართულებებისა და ინტენსივობის შესახებ, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ინფექციური დაავადებების გავრცელების მექანიზმების გასაგებად (2). მოსახლეობის მობილობის ანალიზი საშუალებას იძლევა შეფასდეს დაავადების გავრცელების რისკი სხვადასხვა რეგიონებში.

• დისტანციური ზონდირება და სატელიტური მონაცემები - სატელიტური მონაცემები ფართოდ გამოიყენება გარემოს ისეთი ფაქტორების შესაფასებლად, როგორიცაა ტემპერატურა, ნალექი,

მიწის საფარის ტიპი და ურბანიზაციის დონე. ეს ფაქტორები ხშირად უკავშირდება როგორც ინფექციური, ისე ქრონიკული დაავადებების გავრცელებას. დისტანციური ზონდირების მონაცემები განსაკუთრებით სასარგებლოა იმ რეგიონებში, სადაც ტრადიციული ეპიდემიოლოგიური ზედამხედველობა შეზღუდულია (4).

• ელექტრონული ჯანმრთელობის ჩანაწერები - ელექტრონული სამედიცინო ჩანაწერები წარმოადგენს მნიშვნელოვან წყაროს დაავადების შემთხვევების სივრცით-დროითი ანალიზისთვის. მათი გამოყენება შესაძლებელს ხდის დაავადების ინციდენტობისა და ჰოსპიტალიზაციის სივრცითი ნიმუშების შეფასებას, თუმცა მონაცემთა კონფიდენციალობის საკითხები განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს (3).

• გენომის შესახებ მონაცემები - გენეტიკური ეპიდემიოლოგია ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის მნიშვნელოვან კომპონენტად ჩამოყალიბდა. პათოგენების გენომის სეკვენსირება დაავადების გავრცელების ჯაჭვების რეკონსტრუქციის საშუალებას იძლევა სივრცესა და დროში, რაც განსაკუთრებით ეფექტური აღმოჩნდა ეპიდემიური აფეთქებების დროს (1). გენომური და სივრცითი მონაცემების ინტეგრაცია ზრდის ეპიდემიოლოგიური ანალიზის სიზუსტეს.

ძირითადი ანალიტიკური მეთოდები. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია იყენებს როგორც კლასიკურ, ისე თანამედროვე ანალიტიკურ მეთოდებს.

გეოინფორმაციული სისტემები (GIS) წარმოადგენს მონაცემთა ინტეგრაციისა და ვიზუალიზაციის ძირითად ინსტრუმენტს. GIS-ის საშუალებით შესაძლებელია დაავადების შემთხვევების რუკაზე დატანა, სივრცითი კლასტერული ზონების იდენტიფიცირება და რისკის რუკების შექმნა (5).

სივრცით-დროითი სტატისტიკური მეთოდები გამოიყენება დაავადების გავრცელების დინამიკის შესაფასებლად. ასეთი მეთოდები საშუალებას იძლევა, გამოვლინდეს არა მხოლოდ მაღალი რისკის ზონები, არამედ მათი ცვლილება დროში, რაც მნიშვნელოვანია საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ინტერვენციების დაგეგმვისთვის (4).

მოდელირება და ალგორითმული მიდგომები, მათ შორის "მანქანური" სწავლება (machine learning), სულ უფრო აქტიურად გამოიყენება დიდი მოცულობის მონაცემების დასამუშავებლად. მიუხედავად მათი მაღალი პროგნოზული პოტენციალისა, აუცილებელია ამ მეთოდების შედეგების კრიტიკული შეფასება და ეპიდემიოლოგიური ინტერპრეტაცია (3).

გამოყენება საზოგადოებრივ ჯანმრთელობაში. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის პრაქტიკაში. ის გამოიყენება ეპიდემიური აფეთქებების ადრეული გამოვლენის, რისკის ზონების იდენტიფიცირებისა და რესურსების მიზნობრივი განაწილებისთვის (2).

ინფექციური დაავადებების შემთხვევაში ციფრული სივრცითი ანალიზი ხელს უწყობს გავრცელების მიმართულების უკეთ გაგებას და კონტროლის ღონისძიებების ოპტიმიზაციას. ამასთანავე, სივრცითი მიდგომები წარმატებით გამოიყენება ქრონიკული არაგადამდები დაავადებების გეოგრაფიული გავრცელების შესასწავლად, რაც პრევენციული სტრატეგიების დაგეგმვას ამარტივებს (4).

ეთიკური და მეთოდოლოგიური გამოწვევები. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის განვითარებასთან ერთად მნიშვნელოვნად გაიზარდა არა მხოლოდ ანალიტიკური შესაძლებლობები, არამედ ეთიკური და მეთოდოლოგიური რისკებიც. ამ მიმართულების ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევა დაკავშირებულია მონაცემთა კონფიდენციალობასა და პირადი ცხოვრების დაცვასთან. მობილური მოწყობილობებიდან, ელექტრონული ჩანაწერებიდან და სხვა ციფრული წყაროებიდან მიღებული მონაცემები ხშირად შეიცავს მგრძნობიარე ინფორმაციას, რომლის არასწორმა გამოყენებამ შეიძლება დაარღვიოს ინდივიდის უფლებები (3).

ეთიკური პრობლემები განსაკუთრებით მწვავედ დგება მაშინ, როდესაც მონაცემები გამოიყენება რეალურ დროში ზედამხედველობისთვის. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი მიდგომები ხელს უწყობს დაავადებების ადრეულ გამოვლენას, აუცილებელია მკაფიო რეგულაციები მონაცემთა ანონიმიზაციისა და უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. წინააღმდეგ შემთხვევაში, საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის მიზნებმა შეიძლება დაჩრდილოს პირადი თავისუფლებები, რაც საზოგადოებრივი ნდობის შემცირებას გამოიწვევს (3).

მეთოდოლოგიური თვალსაზრისით, ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია აწყდება მონაცემთა ხარისხისა და წარმომადგენლობითობის პრობლემებს. ციფრული მონაცემები ხშირად არ ასახავს მოსახლეობის ყველა ჯგუფს თანაბრად; მაგ., მობილური ტელეფონების მონაცემები შეიძლება ნაკლებად წარმოადგენდეს ასაკოვან ან სოციალურად მოწყვლად ჯგუფებს. ეს ზრდის სისტემური მიკერძოების (bias) რისკს და ზღუდავს შედეგების გენერალიზების შესაძლებლობას (6).

დამატებით გამოწვევას წარმოადგენს ალგორითმული ანალიზის ინტერპრეტაცია. მანქანური სწავლებისა და სხვა ავტომატიზებული მეთოდების გამოყენებამ გააჩინა ე.წ. „ალგორითმული ცოდნის" ფენომენი, როდესაც შედეგი მიიღება მკაფიო მიზეზობრივი ახსნის გარეშე. ეპიდემიოლოგიური თვალსაზრისით, ეს მოითხოვს განსაკუთრებულ სიფრთხილეს, რადგან პროგნოზული სიზუსტე არ ნიშნავს მიზეზობრივი კავშირის დადგენას (1, 3).

ამგვარად, ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის ეფექტიანი გამოყენება საჭიროებს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ განვითარებას, არამედ მკაფიო ეთიკურ ჩარჩოებსა და მეთოდოლოგიურ სტანდარტებს.

დასკვნა. ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია წარმოადგენს თანამედროვე ეპიდემიოლოგიის მნიშვნელოვან და პერსპექტიულ მიმართულებას, რომელიც აერთიანებს სივრცით ანალიზს, ციფრულ მონაცემებსა და თანამედროვე გამოთვლით მეთოდებს. მისი განვითარების საფუძველს წარმოადგენს მონაცემთა მოცულობის, სისწრაფისა

და მრავალფეროვნების ზრდა, რაც ხდის შესაძლებელს დაავადებების გავრცელების უფრო დეტალურ და დროულ შესწავლას (2, 4).

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია მნიშვნელოვნად აფართოებს ტრადიციული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის შესაძლებლობებს. ის ეფექტურად გამოიყენება როგორც ინფექციური დაავადებების გავრცელების ანალიზში, ისე ქრონიკული არაგადამდები დაავადებების გეოგრაფიული გავრცელების შესასწავლად. ამასთანავე, მისი ინტეგრაცია საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის პრაქტიკაში ხელს უწყობს უფრო მიზნობრივი და მტკიცებულებებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების მიღებას.

მიუხედავად ამისა, ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგიის გამოყენება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ეთიკურ და მეთოდოლოგიურ გამოწვევებთან. მონაცემთა კონფიდენციალობა, წარმომადგენლობითობა და ალგორითმული ანალიზის ინტერპრეტაცია რჩება კრიტიკულ საკითხებად, რომლებიც საჭიროებს მუდმივ ყურადღებასა და რეგულირებას (3, 6).

ციფრული სივრცითი ეპიდემიოლოგია არ უნდა განიხილებოდეს ტრადიციული ეპიდემიოლოგიის შემცვლელად, არამედ როგორც მისი დამხმარე და გამამდიდრებელი ინსტრუმენტი. მისი წარმატებული განვითარება დამოკიდებულია ინტერდისციპლინურ თანამშრომლობაზე, მეთოდოლოგიურ სიმკაცრესა და ეთიკური პრინციპების დაცვაზე.

ლიტერატურა:

1. Denisov N.S., Kamenskikh E.M., Fedorova O.S. Trends in population-based studies: molecular and digital epidemiology. *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2022;14(4):60-68.

2. Eckhoff P.A., Tatem A.J. Digital methods in epidemiology can transform disease control. *International Health*. 2015;7(2):77-78.

3. Eckmanns T., Füller H., Roberts S.L. Digital epidemiology and global health security: an interdisciplinary conversation. *Life Sciences, Society and Policy*. 2019;15:2.

4. Hu K., Li C., Yang X., et al. From infectious diseases to chronic diseases: the paradigm shift of spatial epidemiology in disease prevention and control. *Frontiers in Public Health*. 2025;13:1698964.

5. Lin C.-H., Wen T.-H. How spatial epidemiology helps understand infectious human disease transmission. *Tropical Medicine and Infectious Disease*. 2022;7:164.

6. Morrison C.N., Mair C.F., Bates L., et al. Defining spatial epidemiology: a systematic review and re-orientation. *Epidemiology*. 2024;35(4):542-555.

SUMMARY

Phagava Helen, Mchedlishvili Irakli

DIGITAL SPATIAL EPIDEMIOLOGY: CONCEPTS, METHODS, AND PUBLIC HEALTH APPLICATIONS

TSMU, DEPARTMENT OF EPIDEMIOLOGY AND BIOSTATISTICS

Digital spatial epidemiology is an emerging field of modern epidemiology that focuses on the spatial and temporal patterns of disease distribution using digitally generated data. The aim of this work is to summarize the conceptual foundations, historical development, and practical applications of digital spatial epidemiology in public health. The article outlines the evolution of spatial epidemiology, the definition of digital epidemiology, and their integration into a unified analytical framework. Key data sources are described, including population mobility data, remote sensing, electronic health records, and genomic information. Particular attention is given to spatial–temporal analytical methods and their role in the study of infectious and chronic non-communicable diseases. The review also discusses major ethical and methodological challenges associated with digital spatial epidemiology, such as data privacy, representativeness, and the interpretation of algorithm-driven results. In conclusion, digital spatial epidemiology is presented not as a replacement for traditional epidemiology, but as a complementary approach that enhances the ability to generate timely and spatially informed evidence for public health decision-making.