

Patoloogiavaldkonna digitaliseerimine Eestis

Katrin Koiduaru¹, Lea Mällo², Martin Mürsepp¹, Janika Alloja¹, Andrus Paats², Mikk Jürisson¹

Rahvastiku vananemise, kasvajaliste haiguste esinemissageduse ja patoloogilisi uuringud eeldavate sõeluuringute arvu kasvu ning personaalmeditsiini kiire arengu tõttu seisab patoloogia valdkond silmitsi pidevalt suureneva töökoormusega. Traditsiooniliselt on patoloogide töövahendiks olnud valgusmikroskoop, kuid töömahu suurenemine on toonud kaasa vajaduse digitaalsete tööriistade järele. Digipatoloogia areng on kogu maailmas hoogustunud viimastel aastakümnetel. Praeguseks hõlmab see kogu patoloogia tööprotsessi, alates labori töövoost kuni patoloogilise hindamismaterjali arhiveerimiseni. Võrreldes valgusmikroskoopia põhineva lähenemisega võimaldab digipatoloogia muu hulgas suurendada standarditust, parandada diagnostilist täpsust ning vähendada proovide ringluse aega ja inimlikest eksimustest tingitud vigade teket, parandades seeläbi patsientide ravitulemusi. Samas on digipatoloogia rakendamine seotud märkimisväärsede investeeringutega. Selleks, et Eestis oleks tagatud kaasaegsed diagnostilised lahendused ja ühtlane teenusekvaliteet, oleks otstarbekas kaaluda patoloogiavaldkonna tsentraalset digitaliseerimist.

Patoloogia on meditsiiniharu, mis tegeleb haiguste diagnoosimisega elundite, kudede ja rakkude visuaalse uurimise teel. Patoloogia on pidevalt kasvava töömahuga valdkond – patoloogide töökoormus suureneb nii üle maailma kui ka Eestis. Uuringumahu suurenemise põhilised põhjused on rahvastiku vananemine, kasvajaliste haiguste esinemissageduse ning patoloogilisi uuringuid eeldavate sõeluuringute arvu ja neis osalevate inimeste hulga kasv. Samuti on patoloogiliste uuringute mahu suurenemine seotud personaal- ja täppismeditsiini arenguga, sest rangemaks on muutunud nii preparaate kirjelduste üksikasjalisusele kui ka standarditusele seotud nõudmised.

Traditsiooniliselt on patoloogi põhiliseks tööriistaks valgusmikroskoop, mille abil hinnatakse bioloogilisest materjalist valmistatud preparaate. Suureneva töömahu tõttu on viimase paarikümne aasta jooksul tõusnud üle maailma esile vajadus juurutada patoloogiavaldkonnas digitaalsete tööriistade kasutuselevõttu. Selleks, et hinnata valdkonna digitaliseerimisega seotud kasu ja kulusid Eestis, koostati tervisetehnoloogiate hindamise raport „Digipatoloogia rakendamine Eestis“ (1). Artikkel põhineb raporti tulemustel ning kõik artiklis esitatud andmed on laiemalt kirjeldatud ja viidatud raportis.

PATOLOOGIAVALDKONNA DIGITALISEERIMINE EHK DIGIPATOLOOGIA

Digipatoloogia all mõistetakse kogu patoloogiavaldkonna digitaaltaristut, mis hõlmab endas nii uuringumaterjalist digitaalsete tervikslaidide valmistamist kui ka digitaliseerimisel saadavate andmete haldamist, jagamist, tõlgendamist

ja arhiveerimist digikeskkonnas. Võrreldes traditsioonilise patoloogiaga on digipatoloogial mitmeid eeliseid, mille võib liigitada nelja kategooriasse: automatiseeritud patoloogialabor, digitaalne tervikslaid, telepatoloogia ja tarkvara-põhine analüüs.

Digiseadmete kaasamine patoloogialabori töövoogu ja töövoogu automatiseerimine võimaldavad muuta labori tööd tõhusamaks ning kiirendada proovide ringluse aega. Digitaalses laboris muutub paremaks uuringumaterjali liikumise jälgitavus tööprotsessi eri etappides ja seeläbi on võimalik tagada laboritöö parem kvaliteet. Tänu paranenud kvaliteedikontrollile eri tööetappides väheneb ka inimlikest eksimustest tingitud vigade tekkimise võimalus.

Digitaalses patoloogialaboris on kesksel kohal skanner, mille abil luuakse laboris valminud klaaspreparaatidele vastavad digitaalsed tervikslaidid, mida hinnatakse valgusmikroskoobi asemel arvuti kuvaril. Digitaalsete tervikslaidide puhul on oluline, et virtuaalne kujutis vastaks täpselt mikroskoobis preparaadiklaasil kuvatavale, mistõttu on digitaalsete tervikslaidide diagnostilist kvaliteeti võrreldes klaaspreparaatidega hinnatud rohkem kliinilistes uuringutes. Kliinilisel uuringutel põhinevates metaanalüüsides on leitud, et klaaspreparaadi ja digitaalse tervikslaidi vaheline diagnostiline ühilduvus on valdavalt suur. Seega võib digitaalseid tervikslaidide pidada klaaspreparaatidega võrdväärseks diagnostiliseks hindamismaterjaliks ning Euroopa Komisjon ja Ameerika Ühendriikide toidu- ja raviamet on andnud heakskiidu kasutada

¹ Tartu Ülikooli peremeditsiini ja rahvatervishoiu instituudi tervisetehnoloogiate hindamise keskus,
² Põhja-Eesti Regionaalhaigla

Kirjavahetaja:
Katrin Koiduaru
katrin.koiduaru@ut.ee

Võtmesõnad:
tervisetehnoloogiate hindamine, eelarvemõju, digipatoloogia

digitaalsete tervikslaidide peamise diagnoosi kinnitava meetodina.

Samas ei piirdu digitaalsete tervikslaidide kasu vaid valgusmikroskoobi asendamises arvuti kuvariga, vaid digitaliseerimine on eelduseks nii uuringumaterjali jagamisele digitaalse taristu teel (telepatoloogia) kui ka tarkvarapõhisele analüüsile. Kuna digitaalsete tervikslaidide saab interneti teel jagada, on muutunud võimalikuks kiire, usaldusväärne ja turvaline andmete edastamine üle pikkade vahemaade. Tänu sellele on oluliselt lihtsam (välis)ekspertidega konsulteerimine, sest digitaalset tervikslaidi saavad lisaks uuringut läbiviivale patoloogile samal ajal vaadata ka teised patoloogid. Slaidide jagamise tsentraalne keskkond võimaldab aga patoloogidel spetsialiseeruda ja suunata keerulisemad juhud kohe käsitlemiseks konkreetsele vähipaikmele spetsialiseerunud patoloogile ning jaotada preparaate hindamise koormust. Samuti avab see võimaluse teha kaugtööd. Tänu koostöö ja spetsialiseerumisvõimaluste laienemisele paraneb diagnostiline täpsus ja selle tulemusena ka patsientide ravi. Nii riiklikul kui ka rahvusvahelisel tasandil toimiva telepatoloogia süsteemi eeldus on ühtne digitaalsete tervikslaidide formaat ning ravisutustevaheline digitaalsete tervikslaidide jagamise süsteem.

Digipatoloogia potentsiaalselt suurim mõju patoloogi tööle seisneb tarkvarapõhistes rakendustes, mille abil on võimalik suure täpsusega tuvastada ja klassifitseerida digitaalselt tervikslaidilt haiguspuhuseid muutusi. Tarkvaralahendused suurendavad märkimisväärselt rutiinsete ja suuremahuliste uuringute hindamise efektiivsust, pakkudes samas patoloogipoolse hindamisega võrdväärseid või isegi täpsemaid tulemusi. Praeguseks on Euroopa Komisjoni heakskiiduga tehisintellekt (AI) ja masinõppel põhinevad algoritmid saadaval eesnäärme-, rinna-, emakakaela-, soole- ja mitmete teiste kasvaja-

preparaatide hindamiseks. Sõeluringute kontekstis on algoritmid suutelised usaldusväärselt eristama pahaloomulise leiuga preparaadid healoomulistest, võimaldades patoloogidel muuta tööprotsessi efektiivsemaks ning kasvajaliste muutuste avastamist kiiremaks. Lisaks võivad tarkvaralahendused anda haiguse kohta täiendavat raviotsuseid mõjutavat prognostilist teavet, milleni jõudmine valgusmikroskoopias oleks kas võimatu või ebarealistlikult ajamahukas. Seeläbi aitab tarkvarapõhiste lahenduste kasutamine vähendada patoloogide töökoormust, parandada tulemuste standarditust ning suurendada patoloogide kindlust diagnooside kinnitamisel.

Kokkuvõttes täiustab ja toetab digitaalsete lahenduste kasutamine patoloogide tööd, võimaldades laiendada diagnostilisi võimalusi, standardida uuringute hindamist, parandada uuringute kvaliteeti ja uuringuvastuste kättesaadavust ning vähendada inimlikest vigadest tingitud aja- ja ressursikulu. Patoloogia digitaliseerimine on üks võimalus lahendada kasvava töömahu tingimustes tekkivat tööjõu vähesuse probleemi, sest see lihtsustab ja kiirendab nii eriarstide ja patoloogide vahelisi kui ka patoloogide omavahelisi konsultatsioone. Samuti on digipatoloogia personaal- ja täppismeditsiini laiaulatusliku rakendamise eelduseks. Praeguseks on paljud patoloogialaborid nii Euroopas kui ka mujal maailmas oma töö edukalt digitaliseerinud, kuid üheski riigis ei ole veel õnnestunud luua ühtset riiklikku digipatoloogia võrgustikku. Samas astuvad paljud riigid samme, et seda saavutada.

DIGIPATOLOOGIA MAJANDUSLIK MÕJU

Vaatamata digipatoloogia ulatuslikele eelistele traditsioonilise patoloogia ees võib valdkonna digitaliseerimisel osutada piiranguks märkimisväärsede rahaliste investeeringute vajadus. Teaduskirjanduses on avaldatud mitmeid uuringuid, milles

hinnatakse nii digitaliseerimise kulu kui ka majanduslikku kasu. Neis on leitud, et suurimad kulud tekivad digipatoloogia juurutusfaasis, sest vajalikud on nii mahukad riist- ja tarkvara kui ka personali investeringud. Samuti tuleb arvestada asjaoluga, et slaidide skaneerimine on etapp, mis lisandub labori töövoogu, ja vajadus klaaspreparaatide valmistamise järele ei kao. Kuigi digilabori jooksvad kulud ei ole analoogilabori omadest palju suuremad, on ressursimahukas digitaalsete tervikslaidide elektrooniline säilitamine. Enamasti on õigusaktidega määratud nii bioloogilise materjali parafiinplokkidena kui ka klaaspreparaatide säilitamise vajadus ja tingimused ning alles digitaalsete slaidide täieliku kasutuselevõtu järel on võimalik seadusandlikul tasandil muuta klaaspreparaatide säilitamise nõudeid ja lühendada säilitusaegu.

Digipatoloogia majanduslik kasu seisneb nii igapäevaste kulude vähenemises, tootlikkuse kasvus kui ka lisatulu teenimise võimalustes. Samuti võimaldab digipatoloogia rakendamine parandada patsientide ravi tulemusi tänu proovide ringluse aja lühenemisele ja tõlgendusvigade vähenemisele, minimeerides seeläbi ebavajaliku ravi osutamist või haiguste progresseerumist. Lisaks loob see keskkonna, kus AI-rakenduste abil on võimalik pakkuda personaalmeditsiini lahendusi, parandades nii ravi kui ka kulukate molekulaaruuringute põhjendatud kasutamist ja kvaliteeti. Samas võib kõigi kasude kvantifitseerimine osutada võimatuks, sest kõiki kasusid ega ka tulevikus digipatoloogiliste lahenduste puudumisega seotud kulusid ei ole võimalik praegu rahas mõõta.

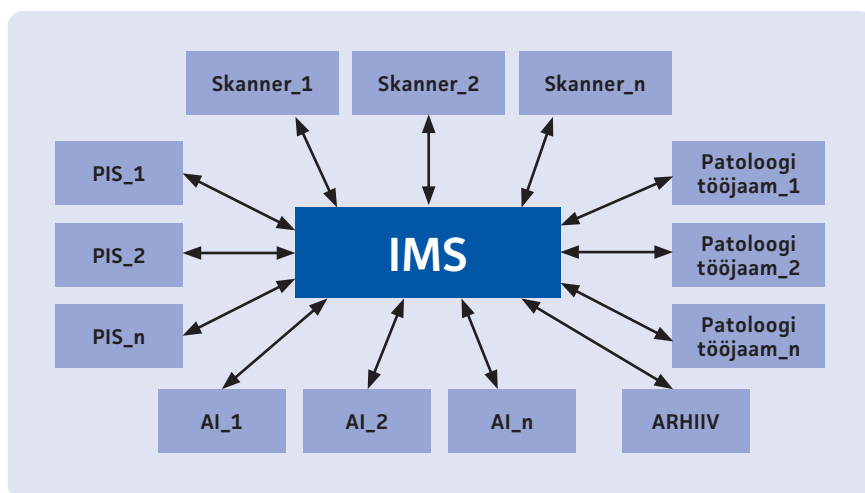
Digilabori juurutamise ja töös hoidmise tegelik kulu sõltub nii laboritöö iseloomust ja mahust kui ka digitaalsete slaidide säilitamise ajast, mistõttu võib eri laborites olla digipatoloogia tasuvusaeg väga erinev. Tihti ei ole digitaalsed lahendused vajalikud ainult kulude vähendamiseks, vaid professionaalse

ja kvaliteetse patoloogiateenuse pakkumiseks eri suuruse ja töömahuga haiglates. Kulutõhusa labori töövoos saavutamiseks on oluline patoloogialabori täielik digitaalsele töövoole üleminek, sest juhul kui kasutatakse nii digitaalset kui ka mikroskoopidega hindamist, tekivad digitaalse töövoos näol lisakulud, kuid kasud ei pruugi realiseeruda.

DIGIPATOLOOGIA RAKENDAMISE VÕIMALIK KORRALDUS EESTIS

Raporti koostamise ajal valmistas Eestis potentsiaalselt digitaliseerimisele kuuluvaid histoloogiliste, günekotsütoloogiliste ja immuunhistokeemiliste uuringute klaaspreparaate kaheksa patoloogialaborit. Eesti patoloogialaborite digitaliseerimine eeldab nii riistvara (nt skannerid, patoloogide tööjaamad), tarkvara (nt digitaalsete kujutiste haldamise süsteem (IMS), AI-l põhinevad rakendused) kui ka personali investeeringuid. Patoloogialaboreid on võimalik digitaliseerida asutusepõhiselt või tsentraalselt. Asutusepõhise mudeli korral peab iga patoloogiateenuse pakkujal olema oma digitaalsete kujutiste haldamise süsteem, millele on vaja arendada vajalikud liidesed patoloogialabori infosüsteemi (PIS) ja arhiveerimislahendusega integreerimiseks. Selline mudel on aga suletud süsteem, mis ei võimalda jagada andmeid erinevate teenusepakkujate vahel. Seetõttu on otstarbekam digitaliseerida Eestis patoloogialaboreid koos ehk rakendada tsentraalset mudelit (vt joonis 1).

Tsentraalse digipatoloogia mudeli keskseks komponendiks on tsentraalne digitaalsete kujutiste haldamise süsteem, mille külge ühenduvad kõikide laborite skannerid, patoloogide tööjaamad ja patoloogialaborite infosüsteemid ning AI-rakendused ja arhiveerimislahendused. Tsentraalse mudeli eeliseks on võimalus kõigil teenusepakkujatel kõiki võrgustikus olevaid digitaalseid tervikslaid visualiseerida ja hinnata. Standarditud



AI – tehisintellekt, IMS – digitaalsete kujutiste haldamise süsteem, PIS – patoloogialabori infosüsteem

Joonis 1. Digipatoloogia tsentraalse rakendamise mudel.

lähenedamine ühtlustab ka patoloogialaborite preparaatide kvaliteeti ning võimaldab patoloogidel spetsialiseeruda ja omavahel konsulteerida.

DIGIPATOLOOGIA RAKENDAMISE EELARVEMÕJU EESTIS

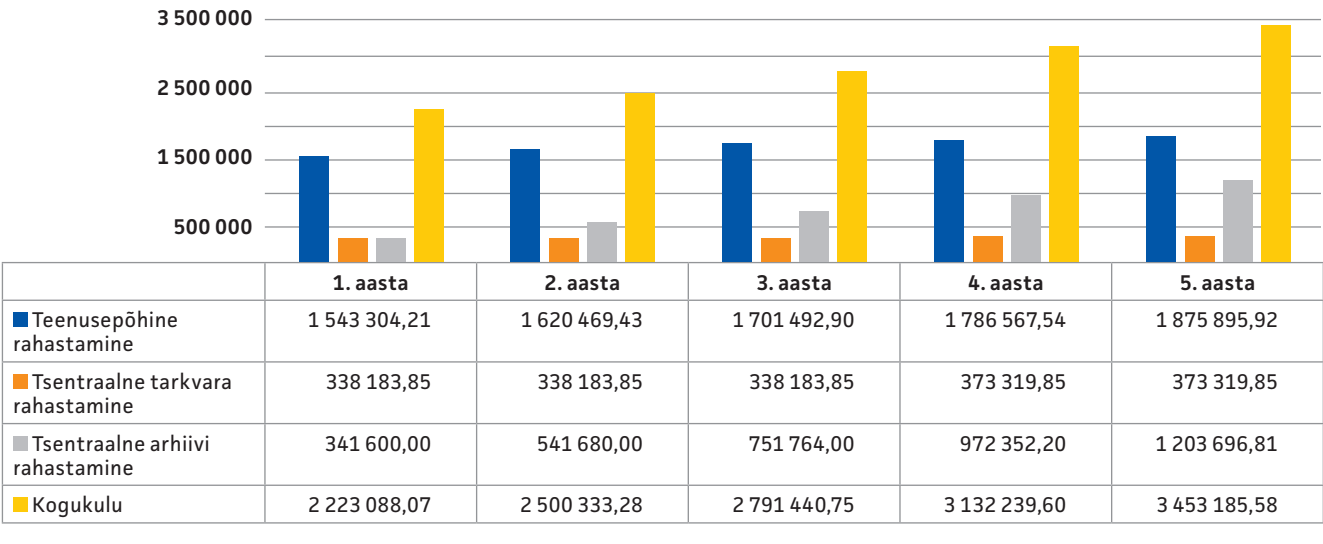
Eesti andmetel koostati ka eelarvemõju analüüs, milles hinnati Eesti patoloogialaborite digitaliseerimise hinnangulist maksumust asutusepõhise ja tsentraalse digipatoloogia mudeli rakendamisel viie aasta perspektiivis. Analüüsis eeldati, et kõik raporti koostamise ajal potentsiaalselt digitaliseerimisele kuuluvaid slaidide valmistavad laborid plaanivad oma tööprotsessi digitaliseerida ja klaaspreparaatide digitaliseerimist alustatakse järk-järgult histoloogilistest preparaatidest. Analüüsis hinnati digitaliseerimise kogukulu ja digitaalse tervikslaidi maksumust, arvestades nii riistvara, tarkvara, personali kui arhiveerimise kuludega. Kulude hindamisel kasutati avalikke andmeid, tootjatele tehtud hinnapäringute vastuseid ja eksperdi hinnanguid. Tsentraalse riigihanke korral pakutavad tegelikud hinnad võiksid autorite hinnangul olla raporti koostamise ajal saadaolevatest hindadest väiksemad.

Eelarvemõju analüüsis leiti, et asutusepõhise mudeli rakendamisel on digitaliseerimise kogukulu viie aasta perspektiivis ligikaudu 24 miljonit ja tsentraalse mudeli rakendamisel ligikaudu 14 miljonit eurot, seejuures on kulu ühe digitaalse tervikslaidi kohta keskmiselt vastavalt 8,68 ja 5,10 eurot. Mõlemal juhul peavad kõik digitaliseeritavad laborid soetama vajaliku riistvara ja palkama digitaliseerimisega seotud personali, kuid tsentraalse mudeli rakendamisel on võimalik hoida kokku tarkvara ja arhiveerimise kuludelt.

Eelnevale tuginedes analüüsiti tsentraalse digipatoloogia rakendamise seotud kulusid aastate kaupa eeldusel, et digipatoloogiat rahastatakse Eestis kahes osas:

- riistvara ja personali kulu katab Tervisekassa sarnaselt praeguse patoloogiateenuste rahastusmudeliga teenusepõhiselt ehk algse investeeringu peavad tegema teenusepakkujad;
- tarkvarainvesteeringute ja arhiveerimise rahastamine käib tsentraalse pildipanga kaudu.

Raportis väljapakutud rahastusmudeli korral on digitaliseerimise kogukulu vahemikus 2,2–3,5 miljonit eurot aastas (vt joonis 2), millest suurema osa moodustab



Joonis 2. Tsentraalse digipatoloogia mudeli kulu viie aasta perspektiivis kulukategooriate kaupa.

teenusepõhine kulu, mis jääb viie aasta perspektiivis vahemikku 1,5–1,9 miljonit. Tsentraalselt rahastatavad kulud on viie aasta perspektiivis vahemikus 0,7–1,6 miljonit eurot aastas, seejuures suureneb andmemahu kasvades märkimisväärselt just arhiveerimise kulu. Samas tuleb silmas pidada, et juhul kui maksimaalne arhiveerimisperiood ongi viis aastat, siis järgnevatel aastatel arhiveerimise kulu kasv aeglustub. Kui aga arhiveerimisperiood on pikem (nt 10 aastat), siis jätkub arhiveerimise kulude kasv kogu arhiveerimisperioodi jooksul.

Analüüsist selgus ka, et enim mõjutab digipatoloogia kogukulu erinevate patoloogiateenuse pakkujate arv Eestis. Seega oleks võimalik

digitaliseerimise kogukulusid ja digitaalse tervikslaidi maksumust vähendada lisaks tsentraliseerimisele ka teenusepakkujate koostöö abil.

RAPORTI JÄRELDUSED

- Digipatoloogia rakendamine Eestis võimaldaks lahendada kasvava töömahu tõttu tekkivat tööjõu vähesuse probleemi, rakendada täpsemaid diagnostilisi standardeid ja vähendada inimlikest vigadest tingitud aja- ja ressursikulu, toetades seeläbi patoloogiavaldkonna jätkusuutlikkust ning personaal- ja täppismeditsiini arengut.
- Eesti-suuruses väikeriigis oleks otstarbekas rakendada digipatoloogiat tsentraalselt, sest

nii suureneks valdkonna standarditus, muutuks võimalikuks spetsialiseerumine, paraneksid konsulteerimise, koostöö ja kaugtöö võimalused ning kogu riigis oleks tagatud võrdväärsed ja kaasaegsed diagnostilised lahendused.

VÕIMALIKU HUVIKONFLIKTI
DEKLARATSIOON

Autoritel puudub huvide konflikt seoses artiklis käsitletud teemaga. Andrus Paats on tegev SA-s Eesti Tervishoiu Pildipank, mis haldab praegu tsentraalset kujutiste arhiivi.

KIRJANDUS

1. Koiduaru K, Mürsepp M, Mällo L, Alloja J, Paats A, Jürisson M. Digipatoloogia rakendamine Eestis: tervisetehnoloogiate hindamise raport TTH74. Tartu: Tartu Ülikooli peremeditsiini ja rahvatervishoiu instituudi tervisetehnoloogiate hindamise keskus, 2025. <https://hdl.handle.net/10062/109002>.