

Jala koormusjaotuse mõõtmine ning selle kasutusvõimalused taastusravis

Rein Kuik¹, Jaak Maaros¹, Aivar Pintsar² – ¹TÜ Kliinikumi spordimeditsiini ja taastusravi kliinik, ²TÜ Kliinikumi traumatoloogia ja ortopeedia kliinik

jala koormusjaotuse analüüs, taastusravi, ortopeedia

Jala koormusjaotuse mõõtmine võimaldab saada informatsiooni põia ja hüppeliigese morfofunktsionaalse seisundi kohta kõndimise, jooksmise ja muude funktsionaalsete tegevuste ajal. Jala koormusjaotuse mõõtmine on uus objektiivne meetod tugi-liikumissüsteemi ning neuroloogiliste patsientide uurimisel, samuti diabeetilise või perifeerse neuropaatia korral. Artiklis on antud lühiülevaade uue diagnostikameetodi põhimõtetest ja kasutusvaldkondadest.

Degeneratiivsed liigesehaigused on kujunenud oluliseks terviseprobleemiks kogu maailmas. Praegusel ajal on puusa- ja põveliigese endoproteesimine üks sagedasemaid operatsioone arenenud riikides. Maailmas tehakse umbes 400 000 puusaliigese endoproteesimist aastas, Tartu Ülikooli Kliinikumis tehakse aastas keskmiselt 450 puusa- ja põveliigese endoproteesimist. Viimastel on aastatel hakatud suuremat tähelepanu pöörama inimkeha, sh alajäseme biomehaanikale. Paljud erineva geneesiga skeleti- ja lihassüsteemi patoloogiad väljenduvad alajäseme morfofunktsionaalsete häiretena. Kuni 2002. aastani puudus Eestis adekvaatne ja objektiivne nende häirete diagnoosimise ning mõõtmise võimalus, kuid vajadust sellise süsteemi järele tunnevad paljud meditsiinierialad (taastusravi, ortopeedia ja traumatoloogia, spordimeditsiin, neuroloogia, kirurgia, endokrinoloogia jm) ning teised inimkeha liikumis- ja tugifunktsiooni uurimisega tegelevad distsipliinid. Eriti olulise tähendusega on jala koormusjaotuse mõõtmine taastusravis, seda just ravimenetluste tõendus- põhisuse ning ravitulemuste objektiivse hindamise osas (1). 2002. aastal oli TÜ Kliinikumil võimalik soetada rahvusvaheliselt aktsepteeritud ning nii ravi kui teadustööks sobiv jala koormusjaotuse analüsaator Footscan Scientific Romberg 3D Box (RSscan International, Belgia) koos kahe

surveplaadiga (pikkusega 2 m ja 0,5 m) (vt foto 1, 2).

Artikli eesmärgiks on anda lühiülevaade uue diagnostikameetodi põhimõtetest ja kasutusvaldkondadest.

Jala koormusjaotuse mõõtmine võimaldab saada informatsiooni põia ja hüppeliigese morfofunktsionaalse seisundi kohta kõndimise, jooksmise ja muude funktsionaalsete tegevuste ajal. Jala koormusjaotuse mõõtmine on tunnustatud kui oluline uurimismeetod, mida kasutatakse nende patsientide uurimisel, kellel on diabeetiline või perifeerne neuropaatia, aga ka erinevad muskulo-skeletaalsed ja närvisüsteemi haigused (2).

Uuringuks kasutatava surveplaadiga on võimalik määrata jala ning toetuspinna vahelisi mõjusid. Täpsemalt – sellega mõõdetakse toe-reaktsiooni jõu vertikaalset komponenti (GRF, *ground reaction force*), mida väljendatakse rõhuna N/cm². Mõõtmisel saadud andmeid on võimalik kasutada väga laialdaselt paljude jala morfofunktsionaalseid häireid põhjustavate haiguste ravi ja taastusravi tõhususe hindamisel, raviplaanide koostamisel ja muutmisel, ortopeediliste jalatsite, ortooside ning liikumisravi harjutusprogrammide määramisel. Samuti on nende parameetrite alusel võimalik interpreteerida liigeste, kõõluste ja kogu alajäseme liikumis-

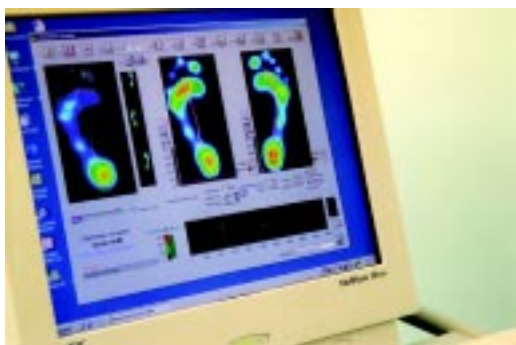


Foto 1. Jala koormusjaotuse analüsaator.

aparadi seisundit. Kogu labajalale langevat koormust on võimalik objektiviseerida nii anatoomiliselt kui ka reaalses dünaamilises funktsioonis. Uuringuid tehakse nii täiskasvanutel kui lastel. Selline mõõtmine võib olla patsiendi kõndimisanalüüsi komponent või tehtud iseseisva kliinilise uuringuna. Samuti saab hinnata patsiendi koordinatsioonivõimet ning määrata keha koormuskeskpunkti liikumise kiirust ning amplituudi Rombergi testil. Siinjuures on oluline märkida, et kogu uuring on mitteinvasiivne ja uuritavale mugav.

Nagu eespool mainitud, on uuringusüsteemi kasutus interdistsiplinaarne:

- spordimeditsiin ja taastusravi – spordivigastuste ennetamine ja diagnostika, taastusravi raviplaanide väljatöötamine ja nende efektiivsuse hindamine;
- traumatoloogia ja ortopeedia – skeletisüsteemi haiguste ja vigastuste diagnostika ja operatiivse ravi planeerimine ning tulemuste hindamine (näiteks puusa- ja põlveliigese endoproteesimine, *hallux valus*'t korrigeerivad operatsioonid jm) (3);
- sisemeditsiin – reumatoloogiliste haigete operatiivse ravi planeerimine ja õige meetodi valik, ravitulemuste hindamine;
- neuroloogia – liikumisfunktsiooni häirete diagnostika ja ravi planeerimine, ravitulemuste hinnang;
- ortopeediline taastusravi – individuaalsete proteeside ja ortooside väljatöötamine ja valmistamine;

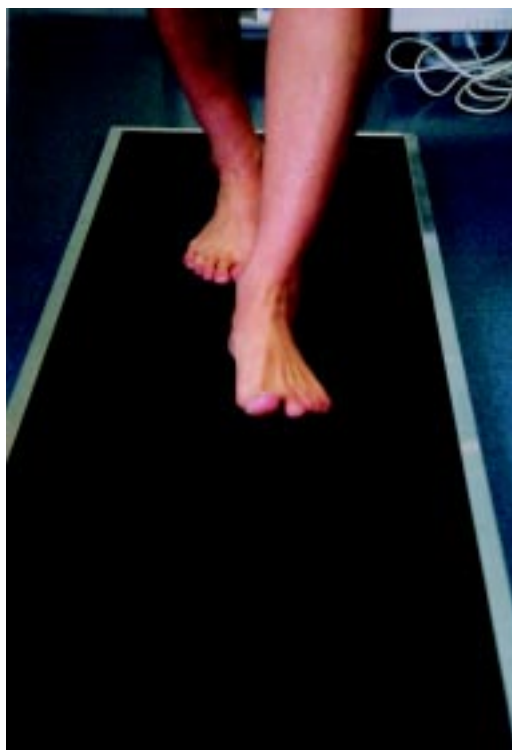


Foto 2. Surveplaat (2 m).

- üldkirurgia – jalakahjutusega seotud probleemide lahendamine diabeedihaigetel.

Seadmed ja uuringumetoodika

Tüüpiline jala koormusjaotuse mõõtmise süsteem koosneb surveplaadist, personaalarvutist, sünkronisaatorist ning tarkvarast. Tarkvara võimaldab jagada talle pinna mitmeks regiooniks ning arvutada nende piirkondade kohta maksimaalse rõhu, keskmise rõhu, toereaktsiooni jõu vertikaalse komponendi väärtused, koormusjaotused erinevate piirkondade vahel ning koormuskõverad vastavatele piirkondadele jm. Samuti on võimalik määrata jalatüüpi (välviindeksi alusel), kandade positsiooni, põidade abduktsiooni/aduktsiooni, pronatsiooni/supinatsiooni, toetusfaasi komponentide pikkust, kasutada markereid erinevate anatoomiliste piirkondade uurimiseks, hinnata ristivõlvi seisukorda jm (4). Mõõdetut saab esitada graafiliselt kahe- või

kolmemõõtmelisena ning tabelitena. Mõõtmisi on võimalik teha nii staatiliselt kui dünaamiliselt.

Kirjeldataud süsteemi hindamise olulisteks kriteeriumiteks on resolutsioon ning mõõtmis-sagedus. Resolutsiooni määrab sensorite arv ühel surveplaadi ruutsentimeetril. Tavaliselt on see 2 sensorit/cm². Meil kasutusel oleval süsteemil on resolutsioon 4/cm². Suurema resolutsiooniga süsteemid võimaldavad saada täpsemaid andmeid väiksemate anatoomiliste struktuuride koormatuse kohta. Seetõttu on suurem resolutsioon väga oluline just lasteuuringutel.

Mõõtmis-sagedus on mõõtmiste arv, mida üks sensor võimaldab ühes sekundis teha (Hz). Kui kõndimise uurimisel piisab 45–100 Hz sagedusest, siis jooksmise salvestamiseks on vajalik vähemalt 200 Hz mõõtmis-sagedus. Enamiku süsteemide mõõtmis-sagedus on vahemikus 50–100 Hz. Meil kasutusel olev süsteem võimaldab uuringuid kuni 300 Hz mõõtmis-sagedusega.

Süsteemi usaldusväärsuse tagavad mõõtmise täpsus ning sensorite kvaliteet. Tavaliselt tehakse 3–5 üksteisele järgnevat mõõtmist (5). Vaatamata sellele ei saa mõõtmistulemustest 100% usaldusväärsust oodata, sest iga kord võib uuritav üle plaadi kõndida erinevalt (2). Seetõttu on erinevate mõõtmiste tulemuste võrdlemine hädavajalik, kuid tihti väga aeganõudev. Lisaks sellele peaks koormusplaadi mõõtmisala olema piisavalt suur, mis võimaldaks uuringut korraldada nii, et patsient ei peaks kõndides püüdma jalaga plaati tabada. See häirib oluliselt patsiendi kõnnakut ning tulemus on vähem usaldatav (6). Kõndimistee pikkus enne ja pärast plaati võiks olla vähemalt 3 sammu. Oluline on ka liikumise kiirus. Kõndimiskiirus mõjutab plantaarrõhkusi ning mõõtmise täpsust. Vaba kiirusega (patsiendile omase kiirusega) üle surveplaadi kõndimine annab parima tulemuse. Vastandiks on kõndimine määratud kiirusega metronoomi järgi.

Meil on kasutusel kaks surveplaati pikkusega 2 m ja 0,5 m. Kahemeetrine plaat on üks suurimatest maailmas toodetavatest. 0,5-meetrine plaat on mõeldud kasutamiseks mobiilse uuringuseadmena,

mida saab tarvitada ka väljaspool mõõtmislaborit. Plaatides on kasutusel polümeersensorid, mis kujutavad endast rõhutundlikke takisteid. Survel väheneb sensorite elektriline takistus (2).

Süsteemi on võimalik kasutada ka kombinatsioonis mitme teise seadmega. Sagedasti kombineeritakse seda elektromüograafia (EMG). EMG on väga väärtuslik lisameetod kliiniliseks kõndimisanalüüsiks, kuna sellega saab täpsed andmed lihaste kohta, mis tingivad kõnnakuhäireid. Sellisel uuringul kasutatakse enamasti pinna EMGd (meil on kasutusel Muscle Tester ME 3000P4, Mega Electronics, Soome). Andmed edastatakse sünkronisaatorile kas telemeetriliselt, kaabli kaudu või mälukaardiga (7). Näiteks võimaldab EMG ja jala koormusjaotuse analüsaatori kombinatsioon täpsemalt hinnata kõndimismustri muutusi pärast puusa- või põlveliigese endoproteesimist, aga ka hemipleegilistel patsientidel (8). Lisaväärtuse annab nendel juhtudel peale dünaamilise analüüsi ka staatilise uuringu võimalus. Võimalik on hinnata posturaalset stabiilsust näiteks enne ja pärast puusaliigese endoproteesimist (sh anda hinnang ka jalgade pikkuse võimalikule erinevusele), samuti hinnata kõndimismustri ja jala koormusjaotuse muutusi ning taastusravi mõju nendele (9).

Jala koormusjaotuse analüsaatorit on võimalik kasutada koos kolmemõõtmelise videoanalüüsi süsteemiga, elektrogonimeetri, sensorsisetaldade jt seadmetega, millest vastuvõetavad signaalid sünkroniseeritakse, ning erinevaid seadmeid saab kasutada ühtse kompleksina.

Praeguseks oleme jala koormusjaotuse analüsaatorit kasutanud 200 haige uurimisel. Suurem osa patsientidest saadeti meile uuringutele spordivigastuste järel ning alajäseme ülekoormus-sündroomide tõttu. Alajäseme morfofunktsionaalsete häirete korrigeerimiseks on mõõtmistulemuste põhjal valmistatud üle 80 paari individuaalseid moodultallatugesid. Teine oluline uuringurühm on olnud põlve- ja puusaliigese endoproteesiga patsiendid, kelle seisundit

hinnatakse 1 kuu enne ning 3 ja 6 kuud pärast operatsiooni. Kompleksne jala koormusjaotuse hindamine võimaldab käsitleda siiani väheuuritud seoseid põlve- ja puusaliigese endoproteesimise, alajäseme koormusjaotuse muutuste ning alajäsemete lihaste funktsionaalsete muutuste vahel. Tänapäevase diagnostilise kompleksi abil saab õigel ajal korrigeerida kompensatoorseid lülisambadeformatsioone, lihaste lokaalset ülekoormust ning tagada liikumisravi monitooringu abil optimaalse koormuse intensiivsuse ja mahtu. Puusa- ja põlveliigese patoloogiaga haigete kompleksne käsitus nii pre- kui ka postoperatiivses staadiumis võimaldab rakendada teaduslikult põhjendatud meetodeid taastusravis, tagades uue ravi ja diagnostilise kvaliteedi. Esialgsed tulemused on näidanud rakendatud meetodika üldisemat sotsiaal-majanduslikku tähtsust töövõimelise elanikkonna taastusravis ja tugi-liikumissüsteemi haigete elukvaliteedi parandamisel.

Individuaalselt valmistatavad tallatoed

Kasutatud meetodi üheks praktiliseks väljundiks on jala koormusjaotuse analüüsi tulemuste arvestamine individuaalsete tallatugede valmistamisel (vt foto 3). Kasutusel on Belgia ettevõtete RSscan International ja AFT koostöös väljaarendatud tallatugede valmistamise tehnoloogia. See baseerub nende firmade üle 16 aasta kestnud uurimistööl ning koostööl ortopeedia ja biomehaanika keskustega üle maailma. Esialgu võeti selliselt valmistatud tallatoed kasutusele jooksjatel, seejärel on nende kasutusvaldkond tunduvalt laienenud. Jala koormusjaotuse analüüsi tulemuste



Foto 3. Moodulsüsteemi tallatoed.

põhjal kombineeritakse erinevad moodulid (alusmoodulid, korrektsioonimoodulid, kattedmoodulid) patsiendile sobivate tallatugede valmistamiseks. Need tagavad jalale neutraalse positsiooni ning takistavad ebaõiget liikumist (funktsionaalne korrektsioon). See võimaldab ära hoida olukordi, kui jala ülekoormuse, ebastabiilsuse ja hüperpronatsiooni tõttu tekivad põlvevigastused ("jooksja põlv" jm) või tendiniidid (Achilleuse tendiniit, plantaarfastsiiit jm), aga ka eespöia probleemid (metatarsalgia, *hallux valgus* jm) (10).

Kokkuvõtteks

Jala koormusjaotuse mõõtmine on taastusravis uus objektiivne meetod, mis võimaldab tõendus põhisel analüüsida ja hinnata ravitulemusi (11). Meetod on edukalt rakendatav tugi-liikumissüsteemi, närvisüsteemi ja teiste haigete seisundi diagnostikas, taastusravis ning ortopeediliste abivahendite valmistamisel.

Kirjandus

1. Femery V, Moretto P, Hespel JM, Linsel G. Plantar pressure biofeedback device for foot unloading. In: Hennig E, Stacoff A, eds. Proceedings of the 5th Symposium on Footwear Biomechanics; 2001; Zuerich, Switzerland; 2001. p.36-7.
2. Orlin MN, McPoil TG. Plantar pressure assessment. *Phys Ther* 2000;80:399-409.
3. Kernozek TW, Roehrs TD, McGarvey S. Analysis of plantar loading parameters pre and post surgical intervention for hallux valgus. *Clinical Biomechanics*. 1997;12:S18-9.
4. Kanatli U, Yetkin H, Simsek A, Keser S, Guzel V. Evaluation of the transverse metatarsal arch of the foot with gait analysis. *J Bone Joint Surg* 1999;81:222.

5. Bukowski EL. Variability of plantar pressure data: a comparison of the two-step and midgait methods. *Phys Ther* 2000;80:426.
6. Hillard PJ, Harrison AJ, Atkins RM. An automated method for processing foot pressure data. *J Bone Joint Surg* 1997;79:464.
7. Morag E, Cavanagh PR. Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking. *J Biomech* 1999;32:359-70.
8. Peat M, Dubo HI, Winter DA, Quanbury AO, Steinke T, Grahame R. Electromyographic temporal analysis of gait: hemiplegic locomotion. *Arch Phys Med Rehabil* 1976;57:421-5.
9. Wykman A, Goldie I. Postural stability after total hip replacement. *Int Orthop* 1989;13;4:235-38.
10. Harries M, Williams C, Stanish WD, Micheli LJ. *Oxford Textbook of Sports Medicine*. Oxford: Oxford University Press; 1998.
11. Young CR. The F-SCAN system of foot pressure analysis. *Clin Ped Med Surg* 1993;10:455-61.

Summary

Measurement of foot pressure distribution and its use in rehabilitation

Measurement of plantar pressure provides the indication of foot and ankle function during gait as well as of other functional activities. Plantar pressure data have been recognized as an important element in assessment of patients with diabetes, peripheral neuropathy and various musculoskeletal and neurological disorders.

Measurements of plantar pressure distribution have a crucial role in rehabilitation for ensuring the effectiveness of treatment and evidence-based results. The purpose of the present paper was to give a brief survey of the nature of this new diagnostic method and its field of use.

rein.koik@kliinikum.ee