

Lasten kvantitatiivinen kävelyanalyysi

Kvantitatiivinen kävelyanalyysitutkimus tehdään tietokonepohjaisella kolmiulotteisella liiketutkakameratekniikkaa hyödyntävällä laitteistolla. Se tuottaa tarkkaa numeerista tietoa kävelystä. Kävelyanalyysi sisältää nivelten liikkeiden kolmiulotteisen mallintamisen (kinematiikka), kehoon kohdistuvien reaktivoimien analyysin (kinetiikka) sekä pääliharyhmien aktivoitumisen (elektromyografia), energian kulutuksen mittauksen ja jalkaterän painekuormituksen mittaukset. Kvantitatiivinen kävelyanalyysi ja siihen liittyvä kliininen tutkimus täydentävät toisiaan ja mahdollistavat kävelyn poikkeavuuksien tarkan ja objektiivisen arvioinnin. Tämä mahdollistaa tarkemman hoidon ja kuntoutuksen suunnittelun ja tuloksellisuuden seurannan sekä kliinisessä työssä että tieteellisessä tutkimuksessa. Kävelyanalyysitutkimus soveltuu itsenäisesti tai apuvälineen avulla käveleville yli viisivuotiaille yhteistyökykyisille potilaille, esimerkiksi neurologisia sairauksia tutkittaessa.

Kävelykyvyn arvioiminen ja kävelyn poikkeavuuksien tunnistaminen on keskeinen osa fyysisen toimintakyvyn arviointia useissa tuki- ja liikuntaelin- sekä erityisesti neurologisissa sairauksissa. Yleisimmät tavat arvioida kävelyä ovat havainnointi ja erilaiset toiminnalliset testit (1). Videointi ja videoanalyysi sopivat havainnoinnin tueksi, mutta kameran linssin kaarevuuden ja perspektiivin vääristymän vuoksi näin ei saada tarkkaa kolmiulotteista tietoa liikkeistä, eikä alaraajojen ja lantion kiertovirheiden tai nivelkulmien tarkka numeerinen arviointi ole mahdollista. Havainnoimalla on esimerkiksi erittäin vaikeata selvittää, johtuuko alaraajan sisäkierto lantion vai lonkkanivelen kiertymisestä. Myös lonkan voimakas lähenys voi havainnoitaessa näyttää kiertovirheeltä.

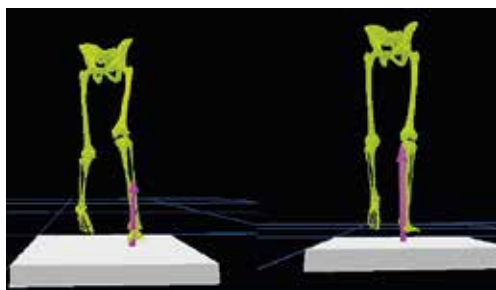
Tarkoituksenmukaisten hoito- ja kuntoutusmuotojen oikea-aikaiseen suunnitteluun ja toimenpiteiden tuloksellisuuden seuraamiseen tarvitaan tarkempaa kvantitatiivista tietoa kävelyn biomekaniikasta. Tällainen objektiivinen ja tarkka analyysi on mahdollista tietokonepohjaisella kvantitatiivisella kävelyanalyysillä, joka sisältää nivelten liikkeiden kolmiulotteisen mallintamisen (kinematiikka), kehoon kohdistuvien reaktivoimien analyysin (kinetiikka) sekä pääliharyhmien aktivoitumisen (elektromyografia, EMG), energian kulutuksen ja jalkaterän painekuormituksen mittaukset. Kävelyanalyysiin kuuluu aina lisäksi potilaan esitietojen kartoitus, haastattelu, kliininen tutkimus ja tarvittaessa eri kuvantamismenetelmien käyttö kliinisen päättelyn tukena (2). Tulokset tulkitaan moniammatillisessa, esimerkiksi neuro-ortopedisessä työryhmässä (ortopedi, neurologi, kliininen neurofysiologi ja fysioterapeutti). Lisäksi hoitolinjojen suunnitteluun vaikuttavat oleellisesti potilaan ja omaisten tavoitteet, odotukset ja voimavarat.

Kvantitatiivinen kävelyanalyysi ja kehoon kohdistuvat vääntövoimat. HYKS:n lasten kuntoutusyksikön kvantitatiivinen kävelyanalyysilaitteisto koostuu kahdeksasta infrapunaliiketutkakamerasta, voimalevystä, kahdesta videokamerasta ja analyysiohjelmasta. Mittaustilanteessa potilaan alaraajoihin ja lantioon kiinnitetään 16 heijastavaa merkkiä tarkasti määriteltyihin anatomisiin kohtiin (KUVA 1 A). Koko vartalon mittauksessa tarvitaan 35 merkkiä. Mittaustilanteessa potilas kävelee mitta-alueella lattiaan kiinnitetyn voimalevyn päältä, ja se rekisteröi kehoon kohdistuvat reaktivoimat (KUVA 1 B) (3).

Tietokoneen analyysiohjelma muodostaa mittaustiedon ja potilaan antropometrinen mittojen (pituus, paino, alaraajojen pituus, polvi- ja nilkkanivelen läpimitta) perusteella kolmiulotteisen biomekaanisen mallin käve-

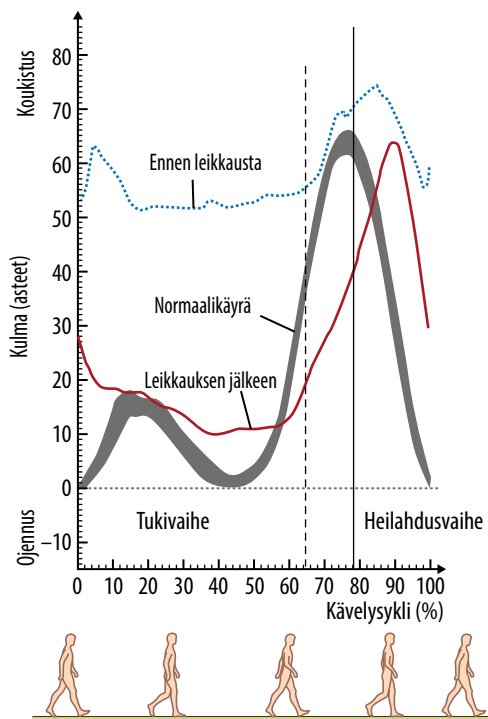


KUVA 1. Heijastavien merkkien (valkoiset) asettelu alaraajoihin (A). Kuvassa myös EMG-pinta-elektrodit (sinivalkoiset) vahvistimineen nilkan koukistajien ja polven ojentajien asettelussa. Mittaustilanteessa kävely (B).



KUVA 2. Biomekaaninen malli kävelyn tukivaiheesta edestäpäin kuvattuna. Vasemmalla puolella on asento ennen leikkausta, jolloin ongelma oli alaraajojen voimakas kiertyminen sisäänpäin. Oikeanpuoleisessa kuvassa tilanne leikkauksen jälkeen, kun leikkauksessa oli korjattu reisiluun kiertovirhe osteotomialla. Nuoli kuvaa alaraajaan kohdistuvaa reaktiovoimaa.

lystä (KUVA 2). Mallista voidaan määrittää kävelyn eri vaiheissa tapahtuvat nivelten liikkeet ja kulmanopeudet kolmessa liiketasossa (sagittaali-, frontaali- ja transversaalitaso), niveliin kohdistuvat vääntövoimat (vääntömomentti) ja lihasten voimantuoton teho (2). Tuloksia voidaan tarkastella sekä kuvaajina (KUVA 3) että tarkkoina numeerisina arvoina, joita verrataan viitearvoihin (3). Lisäksi tuloksena saadaan yksityiskohtaiset tiedot kävelyn matkan



KUVA 3. Polven liike yhden askelparin aikana. Askelpariin kuuluu tuki- ja heilaudusvaihe. Musta leveä viiva on normaali viitearvokäyrä, katkoviiva leikkauksesta edeltävä ja kiinteä viiva leikkauksenjälkeinen käyrä.

ja ajan muuttujista, kuten kävelynopeudesta, askeltiheydestä, tuki- ja heilaudusvaiheen kestosta sekä askelpituudesta ja -leveydestä (2). Kvantitatiivisen kävelyanalyysin toistettavuus on hyvä, mutta virheet ovat mahdollisia (esimerkiksi kliinisesti hyväksyttävä virhe 2–5°, paitsi lonkan kierto liikkeessä 2–8°), mikä on syytä tiedostaa sekä kliinisessä että tutkimustyössä (4). Kvantitatiivinen kävelyanalyysitutkimus soveltuu itsenäisesti tai apuvälineen avulla käveleville yli viisivuotiaille yhteistyökkyisille potilaille.

Kävelyn energiankulutus. Taloudellisuus on tyypillistä normaalille kävelylle. Poikkeavassa kävelyssä energiankulutus voi moninkertaistua. Kävelyn tarkan energiankulutuksen mittaaminen on mahdollista suoralla hapenoton mittauksella (5). Kliinisessä työssä maskin käyttö on hankalaa, ja siksi kävelyn kuormittavuutta mitataan Physical Cost Index (PCI)-testillä, jolla arvioidaan kävelyn rasittavuutta

ja energiankulutusta epäsuorasti seuraamalla sydämen rasisussykettä kävelyn aikana. PCI-arvio perustuu hapenkulutuksen ja sydämen rasisussykkeen väliseen yhteyteen. Testattava kävelee testissä omalla tasaisella kävelynopeudellaan 60–400 metrin pituisen matkan, jonka aikana tutkija mittaa testattavan sykettä ja kävelynopeutta. Tulos ilmaistaan sydämenlyönteinä edettyä metriä kohti.

Liikuntavammaisen lapsen kävely voi olla jopa kuusi kertaa raskaampaa verrattuna viitearvoihin (6). Mittausta käytetään muun muassa alaraajatukia ja kävelyn apuvälinettä valittaessa.

Dynaamisen EMG:n käyttö kävelyanalyysissä. Elektromyografia (EMG) mittaa lihaksen sähköistä toimintaa. Signaali kuvaa lihaksen aktiivisten motoristen yksiköiden määrää ja aktivoitumistiheyttä (7). Elektrodit asetetaan mitattavan lihaksen päälle (pintaelektrodi) tai lihakseen (lankaelektrodi), ja ne rekisteröivät sähköisen toiminnan. EMG-laite yhdistetään dynaamisessa EMG:ssä toimimaan yhtäaikaaisesti liikeanalyysilaitteiston kanssa kävelyanalyysin yhteydessä. Tyypillisesti seurataan samanaikaisesti useiden lihasten (esim. kahdeksan lihasta alaraajaa kohden) toimintaa kävelyn aikana.

Normaalissa kävelyssä lihasten aktiivisuus on hyvin koordinoitua. Agonisti- ja antagonistilihakset ovat harvoin yhtä aikaa aktiivisia (2). Kävelyanalyysissä EMG-tuloksista seurataankin erityisesti lihasten aktivoitumisen ajoitusta ja aktivoitumisjärjestystä. Lihasten voiman tuottoa ei voida luotettavasti arvioida, koska signaalin voimakkuus riippuu muun muassa elektrodien asettelusta ja ihonalaisen kudoksen rakenteesta. Signaalin voimakkuus voidaan suhteuttaa (normalisoitu EMG) esimerkiksi lihaksen maksimaaliseen aktivaatioon mittaustilanteessa, jos tutkittava pystyy tuottamaan tahdonalaisen maksimaalisen lihassupistuksen. Tällöin signaalin voimakkuus ilmaistaan prosentteina vertailuarvosta (5).

Tyypillisiä lihasten aktivoitumisen ongelmia ovat muun muassa nilkan koukistajan passiivisuus kantauskun jälkeen, jolloin jalkaterä läpsähtää alustalle tai polven ojentajien aktivoituminen virheellisesti heilahdusvaiheessa,

TAULUKKO 1. Kävelyanalyysiin liittyvät keskeisimmät kliiniset tutkimukset ja arviointimenetelmät (2, 9).

Kliinisen tutkimuksen osa-alueet	Menetelmä
Päälihasryhmien lihasvoima ja aktivoituminen tahdonalaisesti	
Lonkan ojentaja (m. gluteus maximus)	Manuaalinen lihasastaus
Lonkan loitontaja (m. gluteus medius)	Dynamometri tai isokineettinen mittalaite
Lonkan koukistaja (m. iliopsoas)	Toistotesti tai yhden toiston maksimitesti
Polven ojentajat (m. quadriceps)	Selektiiviliikkeen testaus
Polven koukistajat (hamstring-lihakset)	
Nilkan koukistajat (m. tibialis anterior)	
Nilkan ojentajat (m. gastrocnemius ja m. soleus)	
Lihäsjänteys	
Lonkan lähentäjät	Modified Ashworth -asteikko
Polven koukistajat	Vastusarvo gonioometrilla
Nilkan ojentajat	Modified Tardieu -asteikko
Polven ojentaja (suora reisilihas, m. rectus femoris)	
Nivelten passiiviset liikelaaajuudet ja lihaskireydet	
Lonkan ojennus (m. iliopsoaksen kireys, Thomasin testi)	Goniometri
Lonkan loitonnuksen kireys	
Polven ojennus (hamstringlihas kireys) ns. popliteakulma	
Nilkan koukistus polvi koukussa (m. soleuksen kireys) ja polvi suorana (m. gastrocnemiuksen kireys)	
Luiden virheasennot ja kiertovirheet	
Reisiluun kiertäminen (anteversio)	Goniometri Manuaalinen tutkiminen
Sääriluun kiertäminen	Havainnointi
Jalkaterän jäykkä ja mobiili virheasento (kuormitettuna ja ilman)	
Muut	
Kipu	Kipujana (VAS)
Alaraajan pituus (spina iliaca anterior superior -sisäkehräs)	Mittanauha
Tasapaino ja seisoma-asento (ryhti)	Havainnointi

YDINASIAAT

- ▶▶ Kolmiulotteisella liikeanalyysilaitteistolla tehty kävelyanalyysi tuottaa tarkkaa tietoa kävelyn biomekaniikasta ja sen poikkeavuudesta.
- ▶▶ Kävelyanalyysin yhteydessä tehdään aina kliininen tutkimus, joka antaa tietoa poikkeavuuksien syistä.
- ▶▶ Kävelyanalyysin käyttö mahdollistaa potilaiden kävelyn ensisijaisten ongelmien tunnistamisen sekä tarkoituksenmukaisten konservatiivisten ja operatiivisten interventioiden suunnittelun ja seurannan.

jolloin vapaa polven koukistus ei onnistu ja jalkaterä ”juuttuu” alustaan. Neurologisissa toimintakyvyn häiriöissä tyypillistä on agonisti- ja antagonistilihasten aktivoituminen yhtäaikaaisesti (koaktivaatio) sekä lihasaktivaation pitkittynyt kesto.

Kliininen tutkiminen kvantitatiivisen kävelyanalyysin osana

Kävelyanalyysin yhteydessä tehdään aina kliininen tutkimus, joka antaa tietoa poikkeavan liikkumisen syistä kuten lihasheikkoudesta, nivelen liikerajoituksesta, lihaskireydestä, rakenteellisista poikkeavuuksista tai poikkeavasta koordinaatiosta ja tasapainosta.

Käytössä olevat tutkimusmenetelmät pohjautuvat kansainvälisissä liikeanalyysilaboratorioissa käytössä oleviin mittausten menetelmiin, joista on yksityiskohtaiset mittaushjeet (2, 9). Kliinisen tutkimuksen keskeisimmät osat alueet sekä käytettävät menetelmät on esitetty TAULUKOSSA 1.

Nivelen passiiviset liikelaajuudet, lihas-kireydet ja luiden virheasennot. Alaraajojen nivelen passiivisten liikelaajuuksien mittaamiseen käytetään kulmamittaria. Mittauksessa selvitetään, aiheutuuko liikerajoitus lihaskireydestä, nivelsiteistä, nivelkapselista vai nivelen rakenteesta. Liikeradan loppujousto tuntuu pehmeältä, jos lihakset rajoittavat liikettä, lujemmalta, jos nivelkapselin kireys estää liikettä

tai kovalta, jos luu- ja rustokudos estävät loppujouston.

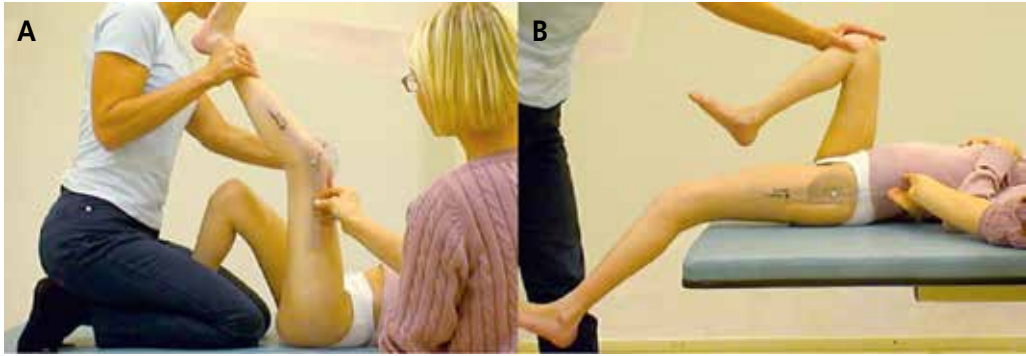
Esimerkiksi polven toiminnallinen ojennusvajaus voi johtua lyhentyneistä polven koukistajista, lantion liiallisesta kallistumisesta eteen, jolloin polven koukistajat kiristyvät, lyhentyneestä nilkan ojentajasta (m. gastrocnemius) tai nivelkapselin kireydestä. Muita syitä ovat muun muassa polven ojentajalihasten heikkous, polven koukistajalihasten yliaktiivisuus tai heikko tasapaino. Esimerkkejä mittauksista esitetään KUVASSA 4.

Luiden virheasunnoista mitataan yleisimmin alaraajojen pitkien luiden kiertovirheasennot kuten reisi- ja sääriluun kiertyminen (KUVA 5). Lisäksi kartoitetaan jalkaterän mobiilit ja jäykät virheasennot sekä kuormituksen kanssa että ilman sitä. Alaraajojen pituudet mitataan mittanauhalla makuuasennossa sekä seisten korotusta käyttäen.

Lihassoima ja lihasten aktivoituminen. Monissa yleisissä liikuntavammoissa kuten lihassairauksissa, MS-taudissa, synnynnäisessä selkäydintyrässä ja CP-vammassa lihasheikkous vaikeuttaa kävelyä. Yleisin tapa arvioida lihasvoimaa on manuaalinen lihastestaus (TAULUKKO 2) (8). Testauksessa arvioidaan yksittäisen lihaksen tai lihasryhmän lihasvoimaa painovoimaa tai manuaalista vastusta vastaan standardoiduissa mittaasunnoissa. Tämä antaa tietoa lihasten tahdonalaisesta aktivoitumisesta mutta on mittauksena karkea, koska manuaalisen vastuksen määrää ei voida vakioida.

Lihassoimaa voidaan mitata tarkemmin erilaisilla dynamometreilla, isokineettisillä voimamittareilla ja toistotesteillä (5). Dynamometrituoli mittaa isometrasta maksimivoimaa. Välineistöön kuuluvat säädettävä mittaustuoli, mittaasanturit, analogi-digitaalimuunnin sekä tietokoneohjelma (KUVA 6). Voimatuolin avulla arvioidaan lihasvoimaa ja sen kehittymistä erilaisten kuntoutusinterventioiden yhteydessä. Lasten ja nuorten lihasvoiman kehitystä on tärkeää seurata säännöllisesti, sillä heidän lihasvoimansa ei fyysisen kasvun myötä kehity riittävästi suhteessa kasvuun.

Ennen lihasten voimantuottoa vähentäviä toimenpiteitä, kuten botuliiniksiinihoitoa (ks. Sätälä tässä numerossa) tai lihasten piden-



KUVA 4. Polven koukistajien kireyttä kuvaavan poplitekulman mittaaminen (A). Lonkan ojentumista (nivelen liikkuvuus ja lonkan koukistajien kireys) kuvaavan Thomasin testin suorittaminen (B).



KUVA 5. Reisiluun pään anteversion mittaminen (A). Säären kiertymisen mittaus suhteessa reisiluuhun (B). Mittauksessa on huomioitava, että alempi nilkkanivel ohjataan keskiasentoon.

nysleikkausta, on syytä myös varmistaa, että kohdelihasten ja pystyasentoa ylläpitävien lihasten lihasvoima riittää eikä toimenpide heikennä lihaksia liikaa. Esimerkiksi nilkan ojentajalihashen tai akillesjänteen pidentämisessä suurena riskinä on nilkan ojennusvoiman romahtaminen ja polvien koukistuminen, sillä nämä lihakset tuottavat 50 % asentoa ylläpitävästä (m. soleus) ja kävelyä eteenpäin vievästä voimasta (m. gastrocnemius) (2).

Lihasjänteittä arvioidaan potilailla, joilla on neurologinen toimintakyvyn häiriö. Yleisimmin käytetään Modified Tardieu ja Modified Ashworth -asteikkoja (TAULUKKO 3) (10, 11). Raajaa liikutetaan rauhallisesti yhden sekunnin ajan koko liikelajajuudella lihaksen lyhimmästä asennosta venyneimpään asentoon. Liike toistetaan maksimissaan kolme kertaa. Liikenopeus on oleellinen, koska spastisuuden voimakkuus on nopeudesta riippuvainen.

Lisääntynyttä lihasjänteittä kuvaa myös nopeassa venytyksessä lihaksessa tuntuva terävä

vastus (catch). Mitä suurempi ero nopeassa venytyksessä tuntuvalla vastuskulmalla on passiiviseen liikelajajuuteen verrattuna, sitä suurempi on lihaksen kireyden dynaaminen komponentti. Tällöin spastisuushoidot (esimerkiksi botuliinitoksiini) tehoavat (KUVA 7). Kun vastusarvo on lähes sama kuin rajoittunut passiivinen liikelajajuus, on kyseessä rakenteellinen liikerajoitus (kontraktuura).

TAULUKKO 2. Manuaalisen lihastestauksen asteikko (8).

Tulos	Kuvaus
5	Liike nivelen koko liikeradalla täyttä vastusta vastaan
4	Liike nivelen koko liikeradalla osittaista vastusta vastaan
3	Painovoiman voittava liike koko liikeradalla
2	Liike koko liikeradalla painovoima eliminoituna
1	Havaittava lihassupistus
0	Ei havaittavaa lihassupistusta



KUVA 6. Polven ojentajien isometrinen voimamittaus dynamometrivoimatuolissa.

Kävelyanalyysi hoidon ja kuntoutuksen suunnittelussa ja seurannassa

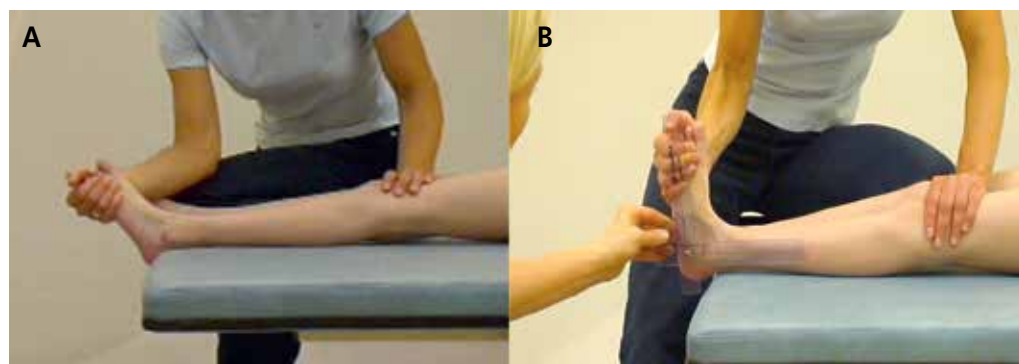
HYKS:n lasten kuntoutusyksikössä kävelyanalyysiä käytetään erityisesti CP-vammaisten lasten ortopedisten leikkausten, botuliinitoksiinihoitojen, kuntoutuksen ja alaraajatukien suunnittelussa ja seurannassa. Poikkeavan kävelyn pääongelman selvittäminen kävelyanalyysillä mahdollistaa tarkoituksenmukaisten

TAULUKKO 3. Spastisuuden arvio Modified Ashworth Scale -asteikolla (11).

Tulos	Kuvaus
0	Normaali lihasjänteys
1	Lievästi suurentunut, terävä vastus havaitaan tai vastus tuntuu liikeradan loppuosassa
1+	Lievästi suurentunut, havaitaan terävä vastus, joka tuntuu alle puolessa liikeradasta
2	Selvästi suurentunut, vastus tuntuu suurimmassa osassa liikeradasta
3	Huomattavasti suurentunut, passiivinen liikkuttaminen on vaikeaa
4	Jäykkä, ei liikettä

kuntoutus- ja hoitoratkaisujen valinnan oikea-aikaisesti (esimerkiksi lihasvoimaharjoittelu, venyttely, sähköstimulaatio, vibraatio, kävelymatto, botuliinitoksiini). Kävelvien CP-vammaisten lasten leikkausarviointien tulisi perustua kliinisen tutkimuksen lisäksi kvantitatiiviseen kävelyanalyysiin.

Kävelyanalyysin käyttö tarkoittaa leikkaussuunnitelmia ja vähentää turhien toimenpiteiden määrää (12, 13). Hyödyttömien toimenpiteiden määrän väheneminen on ensisijaisesti potilaan etu, mutta samalla se säästää perheiden voimavaroja ja terveydenhuollon kustannuksiakin. Virhearviointit leikkaushoidossa saattavat heikentää potilaan toimintakykyä pysyvästi. Kokemukset ja tutkimustulokset viittaavat siihen, että kävelyanalyysituloksia hyödyntämällä leikkaustulokset ovat parempia (14).



KUVA 7. Nilkkanivelen m. gastrocnemiuksen vastuskulma vasteena nopealle venytykselle (A). Nivelkulma hi-
1520 taassa venytyksessä. Ero kuvaa spastisuuden osuutta liikerajoituksessa (B).

Lopuksi

Liikeanalyysilaitteistolla on kuvaamamme yli viisivuotiaiden liikuntavammaisten lasten kävelyanalyysin lisäksi laajat käyttömahdollisuudet myös aikuispotilaiden liikkeen tai liikesuorituksen analysoinnissa. Kansainvälisesti

laitteistoa käytetään erityisesti neurologisten ja ortopedisten toimintakyvyn häiriöiden yhteydessä sekä amputoiduilla potilailla. Laaja sovellusalue on urheilusuoritusten tutkiminen ja urheiluvammojen ennaltaehkäisy. ■

TUULA NIEMELÄ, fysioterapeutti

HELENA MÄENPÄÄ, lastenneurologi, LT

HUS Naisten- ja lastentautien tulosyksikkö

KRISTA LEHTONEN, TtM, fysioterapeutti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Jyväskylän yliopisto

SIDONNAISUUDET

Tuula Niemelä: Ei sidonnaisuuksia

Krista Lehtonen: Ei sidonnaisuuksia

Helena Mäenpää: Ei sidonnaisuuksia

KIRJALLISUUTTA

1. Ahonen J, Sandström M. Liikkuva ihminen -aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka. Lahti: VK-kustannus Oy 2011.
2. Gage JR, Schwartz MH, Koop SE, Novacheck TF. The identification and treatment of gait problems in cerebral palsy. Oxford: Mac Keith Press 2009.
3. Baker R. Measuring walking. A handbook of clinical Gait Analysis. Lontoo: Mac Keith Press 2013.
4. McGinley JL, Baker R, Wolfe R, Morris ME. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: a systematic review. *Gait Posture* 2009;29:360–9.
5. Kauranen K, Nurkka N. Biomekaniikka liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 166. Tampere: Tammerprint Oy 2010.
6. Raja K, Joseph B, Benjamin S, Minocha V, Rana B. Physiological cost index in cerebral palsy: its role in evaluating the efficiency of ambulation. *J Pediatr Orthop* 2007;27:130–6.
7. Partanen J, Falck B, Hasan J, Jäntti V, Salmi T, Tolonen U, toim. Kliininen neurofysiologia. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2006.
8. Hislop HJ, Montgomery J. Daniels and Worthingham's Muscle testing. 8.painos. St Louis: Saunders Elsevier 2007.
9. Niemelä T. Alaraajojen nivelten liikelaajuuksien/lihaskireyksen ja spastisuuden arvioiminen lapsilla ja nuorilla kulmamittarin avulla. Mittausohje, HUS, NaLa, 2014.
10. Haugh AB, Pandyan AD, Johnson GR. A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity. *Disabil Rehabil* 2006;28:899–907.
11. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther* 1987; 67:206–7.
12. Loftered B, Terjesen T. Results of treatment when orthopaedic surgeons follow gait-analysis recommendations in children with CP. *Dev Med Child Neurol* 2008;50:503–9.
13. Wren TA, Gorton GE 3rd, Ounpuu S, Tucker CA. Efficacy of clinical gait analysis: a systematic review. *Gait Posture* 2011; 34:149–53.
14. Filho MC, Yoshida R, Carvalho WS, Stein HE, Novo NF. Are the recommendations from three-dimensional gait analysis associated with better postoperative outcomes in patients with cerebral palsy. *Gait Posture* 2008;28:316–22.

Summary

Quantitative analysis of gait in children

Quantitative analysis of gait yields precise numerical data about gait. It includes three-dimensional modeling of joint movements (kinematics), analysis of reaction forces directed to the body (kinetics) as well as measurements of activation of major groups of muscles (EMG), energy consumption and pressure load on the foot. Quantitative analysis of gait and the associated clinical examination complement each other, enabling a precise and objective evaluation of gait abnormalities. Quantitative analysis of gait is suitable for patients who are more than five years old, walk independently or with walking aids, and are able to cooperate.