

JUDESIŲ VALDYMO IR REABILITACIJOS NAUJOVĖS

Albertas Skurvydas

Lietuvos kūno kultūros akademija

SANTRAUKA

Straipsnyje analizuojamos šiuolaikinės judesių valdymo ir rehabilitacijos paradigmos. Šiandien, tiriant judesių valdymą ir mokymą, konkuruoja dvi pagrindinės paradigmos (teorijos): skaičiavimo ir dinaminių sistemų. Skaičiavimo paradigmos požiūriu, judesių valdymo ir mokymo pagrindinis mechanizmas – tai galvos smegenų gebėjimas „skaičiuoti“ (biologinis kompiuteris). Pagal dinaminių sistemų paradigmą judesių valdymo mechanizmas formuojasi laike. Kitaip tariant, jis kiekvieną kartą gali būti kitas.

Didelis dėmesys šiame straipsnyje yra kreipiamas į judesių valdymo pagrindinius principus, judesių savybes. Be to, straipsnyje aptariamos judesių rehabilitacijos po galvos smegenų insulto šiuolaikinės metodikos. Naujausias mokslo žodis: a) neuroprotezų taikymas; b) pažeistų nervinių ląstelių atauginimas. Mokslininkai nori suprasti, kaip būtų galima: a) sukurti tokį mechanizmą-protezą, kuris paklustų žmogaus valios pastangoms (mechanizmą, kuris iš nervinių ląstelių aktyvumo suprastų, kokį judesį nori atlikti žmogus); be to, šis mechanizmas turi vietoje pažeistų nervinių ląstelių siūsti į raumenis optimalią motorinę komandą-programą; b) atauginti dėl insulto pažeistas nervines ląsteles. Pirmutiniai žingsniai toje srityje jau žengti, pavyzdžiui, gana sėkmingai bandoma vietoje pažeistų ląstelių implantuoti kitas sveikas ląsteles (www.carecure.atinfopop.com).

Raktažodžiai: judesių valdymas, rehabilitacija, insultas.

JUDESIŲ VALDYMO IR MOKYMO BENDRIEJI YPATUMAI

Šiandien, tiriant judesių valdymą ir mokymą, konkuruoja dvi pagrindinės paradigmos (teorijos): skaičiavimo ir dinaminių sistemų [1, 2, 3]. Skaičiavimo paradigmos požiūriu, judesių valdymo ir mokymo pagrindinis mechanizmas – tai galvos smegenų gebėjimas „skaičiuoti“ (biologinis kompiuteris). Dinaminių sistemų paradigmos požiūriu, judesių valdymo mechanizmas formuojasi laike. Kitaip tariant, jis kiekvieną kartą gali būti kitas. Tai priklauso nuo žmogaus organizmo būsenos, aplinkos ir tikslų. Žmogaus galvos smegenų „kompiuteris“, valdydamas judesius, skaičiuoja tūkstančius kartų greičiau nei patys tobuliausi kompiuteriai. Ir tai atsitinka ne dėl to, kad žmogaus nervai signalus siunčia labai greitai, bet dėl daugelio unikalių skaičiavimo būdų, kurių tik maža dalis atskleista.

Pavyzdžiui, galvos smegenys apskaičiuoja (nustato)

motorinės sistemos būseną, būsimo judesio trajektoriją, raumenų išugdomą jėgą, amplitudę ir pan. Pagrindinis skaičiavimo principas – sudėtingumo supaprastinimas, kitaip tariant, galvos smegenys, valdydamos judesius, „ištiesina“ galvoje daugelį fenomenų, kurie yra netiesiniai periferijoje (pačiame judesyje). Skaičiavimai dažniausiai yra naudojami dviem pagrindiniais atvejais: a) prognozuojant judesių atlikimą (iš anksto, be grįžtamojo ryšio-informacijos apskaičiuojamas judesio atlikimas; b) tikslinant judesio atlikimą (grįžtamuju ryšiu). Dinaminių sistemų požiūriu, galvos smegenys negali spėti apskaičiuoti (pvz., visų galimų judesių trajektorijų), nes tai ne tik neįmanoma, bet ir neekonomiška. Todėl manoma, jei ir vyksta skaičiavimas, tai daugeliu atveju spontaniškai, t. y. darant daug klaidų. Šiandien kol kas ginčą laimi statistinė paradigma.

PAGRINDINĖS JUDESIŲ SAVYBĖS

Dinamiškumas. Kiekvieną kartą per kambarį nešdami ant delno pastatytą šluotą sėkmingai pasiekiamo tikslą, t. y., išlaikome šluotos pusiausvyrą, nors ranka juda, atrodo, chaotiškai. Įdomu tai, kad kaskart rankos judėjimo trajektorija bus kitokia. Tas pats tikslas kiekvieną kartą yra pasiekiamas, bet skirtingais judėjimo kinematiniais (trajektorijos, greičio) ir dinaminiais (jėgos) parametrais. Judesių dinamiškumas – neišvengiama ir būtina judesių atlikimo savybė [3, 4, 5]. Gyvos sistemos negyvena nei pagal absoliučios tvarkos dėsnius, nei pagal visišką netvarką – jos greičiau veikia chaotiškai, sujungdamos tvarką ir atsitiktinumus.

Jeigu judesiai nebūtų atliekami dinamiškai (kintamai), tai jie netektų dviejų labai svarbių savybių: pastovumo ir adaptyvumo [3, 4, 5]. Tačiau dinamiškumas turi būti optimalus, t. y. nei per didelis, nei per mažas – jei dinamiškumas yra per didelis, nukečia judesio atlikimo tikslumas (pvz., jei reikėtų pataikyti šaudant į taikinį, kai važiuojame mašina dideliu greičiu per duobėtą kelią, o ir taikiny (tarkim, kiškis) bėga netiesiai – pataikymo tikimybė nedidelė); mažai dinamiškas judesys labai stabilus, bet jį atliekant apribojama kūrybos laisvė.

Judesio atlikimo kinematinės ir dinaminės klaidos yra didesnės nei galutinio tikslo pasiekimo. Kitaip tariant, didesnė tikimybė pasiekti tą patį tikslą, nei judesį atliekant ankstesniu būdu. Judesių atskirų dalių dinamiškumas nėra vienodas. Pavyzdžiui, kuo arčiau taikinio (tikslų) juda ranka, tuo mažesnis jos trajektorijos kintamumas.

Kaip perprasti judesių dinamiškumą (kintamumą)? Kaip jį įvertinti, jei duomenų vidurkinimo metodai iškraipo kiekvieno žmogaus motorinės sistemos unikalumą? Kaip galima valdyti judesius, jeigu jie yra tokie dinamiški? Paskutinis klausimas yra vienas iš svarbiausių tarp judesių valdymo ir mokymo mokslininkų. Todėl dinamiškų (nuolat kintamų) judesių valdymas yra viena iš didžiausių judesių valdymo ir mokymo problemų. Pagrindinis problemos sprendimo būdas – mažinti valdymo sudėtingumą (jį supaprastinti) [3].

Judesių kintamumas yra mažesnis dviem pirštais atliekant judesį, o ne vienu [1]. Todėl teigiama, kad kuo daugiau būtinų motorinės sistemos (ir ne tik jos) dalių dalyvauja atliekant judesį, tuo jis stabilesnis, t. y. nepaisant įvairių trukdžių judesio atlikimo sėkmės tikimybė bus didesnė. Visgi gana sunku nustatyti, kokios motorinės

sistemos dalys yra būtinos konkrečiam judesiui atlikti. Pavyzdžiui, centrinė nervų sistema, valdydama judesius, vadovaujasi nereikalingų judesių mažinimo principu – tai reiškia, kad centrinė nervų sistema ieško optimalaus sprendimo judesiui atlikti [1].

Spontaniškumas. Motorinė programa kiekvieną kartą susiformuoja spontaniškai, t. y. savaime [4, 5]. Todėl judesio kinematinės ir dinaminės ypatybės gali spontaniškai kisti. Judesių spontaniškumas skiriasi nuo judesių dinamiškumo tik tuo, kad jis daugiau rodo ne-prognozuojamą (savaiminį) judesio ypatybių pokytį, o dinamiškumas – judesių kintamumą. Mokslininkai teigia, kad keičiantis judesių atlikimo greičiui (jėgai, amplitudei ir pan.) spontaniškai gali pasikeisti judesių atlikimo kokybė [4, 5]. Tai įvyksta kritiniu laikotarpiu (pereinamuoju). Kritiniu laikotarpiu centrinė nervų sistema gali spontaniškai priimti vienokį ar kitokį sprendimą (pvz., bėgti ar sustoti, perduoti kamuolį ar pačiam mesti į krepšį, pasukti mašiną į kairę ar į dešinę). Sprendimas priimamas taip greitai ir nevalingai, kad žmogus tik vėliau supranta, ką ir kaip padarė.

Galūnės sąnarių kampai, atliekant judesius, labiau kinta nei distalinės galūnės dalis [3, 5]. Galvos smegenys daugiau stebi ne visą galūnę, bet jos distalinį (galutinį) tašką. Pavyzdžiui, norėdamas ant delno išlaikyti stovinčią lazda, žmogus, ko gero, žiūrės, kaip juda ranka, – tada lazda pusiausvyros neišlaikys. Lazdą stovinčią galima išlaikyti tik žiūrint į lazdos distalinį (labiausiai nutolusį) galą.

Stabilumas. Motorinės sistemos stabilumas – gebėjimas pasiekti tikslą po išorinio sutrukdyimo. Nors

judesys kiekvieną kartą atliekamas vis kitaip, daugeliu atvejų judėjimo tikslas yra pasiekiamas [3, 4]. Pavyzdžiui, nors ranka, išlaikydama ant delno pastatytą lazda, juda chaotiškai, tikslas yra pasiekiamas – pusiausvyra išlaikoma. Žmonės daugeliu atvejų geba pasiekti tikslą, nepaisant to, kad pats judesių atlikimas yra kintamas (pvz., žmonės geba vairuoti dviratį važiuodami niekada nematytu keliu ir pan.).

Dabartiniu metu mokslininkai išskiria dvi judesių stabilumo sampratas. Pagal pirmą sampratą judesių stabilumas – gebėjimas pasiekti tikslą kuo didesne tikimybe (pvz., jei iš 10 bandų, žaisdami krepšinį, pataikome 5, tai kalbame, kad judesio stabilumas siekia 50% (tuo atveju esame labiau pripratę vietoje stabilumo vartoti tikslumo sąvoką). Pagal antrą sampratą judesių stabilumas – tai gebėjimas priešintis išoriniams trukdžiams (pvz., žmogus išlaiko pusiausvyrą ar nugriūva, jei jį kažkas pastumia 500 N jėga). Pagal pirmą sampratą tai gali būti vadinama vidiniu motorinės sistemos stabilumu (gebėjimu nepaisyti vidinių trukdžių), o pagal antrą – išoriniu stabilumu (gebėjimu nepaisyti išorės trukdžių).

Adaptyvumas ar gebėjimas mokytis. Viena iš svarbiausių motorinės sistemos savybių yra adaptyvumas arba gebėjimas mokytis, t. y. motorinė sistema atsimena prieš tai buvusius judesius, ypač originalius, netikėtus, didelį įspūdį palikusius. Motorinė atmintis nebūtinai yra valingas procesas, ji pasireiškia mums to nejaučiant. Apibendrintai tariant, motorinė sistema nuolatos mokosi, kaip geriau atlikti judesius.

JUDESIŲ VALDYMO DĖSNINGUMAI

Galvos smegenys sukuria planą ir jį įgyvendina skirtingais raumenimis. Kodėl mokame rašyti koja, jei niekad jos nedarėme? Ogi dėl to, kad galvos smegenys geba valdyti judesius taip, kad tas pats tikslas gali būti pasiektas skirtingais būdais, skirtingais raumenimis, skirtinga trajektorija, skirtingu greičiu, jėga ir pan. Antra vertus, toks pat judesys gali būti atliekamas skirtingu tikslu. Pavyzdžiui, ranką pakelti į viršų galima norint nuskinti obuolį, pagauti kamuolį arba atkreipti dėmesį į save ir pan. Neretai ta pati motorinės žievės nervinė ląstelė priklausomai nuo konteksto piramidiniais laidais gali aktyvuoti skirtingus raumenis – ne tik sinergetus, bet ir antagonistus. Galvos smegenys pirmiausia sukuria abstraktų judesio tikslą (planą), t. y. judesio planas nenurodo, kokiais įrankiais (raumenimis) jis bus įgyvendintas [2, 3].

Kokia tokio abstraktaus planavimo prasmė? Nors ir nėra vienareikšmiško atsakymo, tačiau manoma, kad norint atlikti sudėtingus ir dinamiškus judesius būtina (kiek galima) pasirinkti lankstų valdymo mechanizmą [2, 3, 6]. Todėl ir judesio planavimas (kaip pirmas judesio valdymo etapas) yra pakankamai lankstus, t. y. nenurodo konkrečių judėjimo dydžių [2, 7].

Judesių laisvės apribojimas. Pagal šį judesių valdymo dėsninę galvos smegenys stengiasi (kiek galima daugiau) apriboti sąnarių judėjimo laisvę tam, kad kuo stabiliau galėtų pasiekti judėjimo tikslą [4]. Kitaip tariant, jei reikėtų valdyti visus raumenis, tai padaryti būtų gana sunku (ar net neįmanoma). Kuo mažiau valdomųjų, tuo geriau juos galima valdyti.

Žinomi du pagrindiniai judesių laisvės apribojimo būdai: a) apribojant judėjimą sąnaryje (pvz., kartu aktyvuojant agonistus ir antagonistus, sąnarys „sustingsta“); b) sujungiant daugelį raumenų (ar sąnarių) į vieną valdymo objektą (sinergiją ar funkcinį-struktūrinį vienetą). Abiem atvejais galvos smegenys sprendžia tą pačią per didelės judėjimo laisvės problemą [3, 4]. Dar kitaip ji vadinama *Bernsteino* problema. N. Bernstein šią problemą siūlė spręsti apribojant judėjimo laisvę. Pasirodo, judesių įvairovė nėra problema, greičiau privalumas [3]. Kadangi to paties judesio tikslui pasiekti yra daugybė būdų (alternatyvų), tai galvos smegenims iškyla didelė problema – kaip pasirinkti geriausią. Sunku pasirinkti tai situacijai tinkamiausią būdą, todėl teigiama, kad pasirenkamas vienas iš geriausių.

Galvos smegenys kartu su nugaros smegenimis beveik niekad nevaldo vieno raumens atskirai, jos visada atsižvelgia į kitų raumenų esamą kinematinę ar dinaminę būseną. Galvos smegenys stengiasi atskirus raumenis, kurie dalyvauja atliekant tam tikrą judesį, sujungti į vieną mechanizmą-sistemą. Be to, galvos smegenys ilgiau atsimena visą judesį, o ne jo dalis. Abiem rankom atliekant judesį, jos dirba kaip viena sistema – kaip vienas sinerginis mechanizmas, t. y. jei viena ranka padaro klaidą, kita stengiasi ją ištaisyti. Nustatyta, kad dviejų rankų sinergija yra stipresnė nei vienos skirtingų sąnarių sąveika [3].

Mažiausios sąveikos principas. Motorinės sistemos dalys – raumenys, nugaros ir galvos smegenys –

stengiasi (kiek galima) veikti nepriklausomai, t. y. kuo mažiau priklausyti nuo kitų [1, 3, 4]. Kitaip tariant, kiekviena dalis stengiasi būti nepriklausoma. Galima teigti, kad judesys – tai vienam tikslui įsipareigojusių nepriklausomų dalių mažiausios sąveikos rezultatas. Toks yra bendras šio dėsningumo aiškinimas. Mažiausios intervencijos principas teigia, kad atskiros motorinės sistemos dalys turi kuo mažiau kištis (sąveikauti) vienos į kitų veiklą. Pagal tą judesių valdymo principą dalys dirba kiek galima nepriklausomai, tačiau jos vieną kitą stebi – jei suklysta viena, jos klaidą stengiasi ištaisyti kitos. Jei to paties judesio valdymo lygio (pvz., nugaros smegenys) dalys nebegali kompensuoti viena kitos klaidų, tada jos kreipiasi pagalbos į kitus judesių valdymo lygius (pvz., į galvos smegenų motorinę žievę) [1].

Grįžtamasis ryšys. Galima sakyti, kad be nuolatinės informacijos apie judesio atlikimo eigą ir galutinį rezultatą neįmanoma judesio atlikti tobulai. Tuo labiau be šios informacijos (grįžtamojo ryšio) neįmanomas joks judesių mokymosi procesas. Teigiama, kad judesio atlikimas, kaip ir judesio mokymasis – tai nuolatinis klaidų taisymas atsižvelgiant į informaciją apie judesį [1]. Galvos smegenys vienu metu gauna labai daug informacijos iš periferijos, todėl ją reikia apibendrinti, atsisakyti smulkmenų, trukdymų ir pan. Motorinė sistema taip sukonstruota, kad kiekvienas jos lygmuo geba filtruoti nereikalingą informaciją (pvz., iš raumens į nugaros smegenis daugiau ateina informacijos, nei nugaros smegenys jos nusiunčia į galvos smegenis [1]. Atgalinio ryšio šaltinių yra gana daug: a) galvos smegenys (eferentinė kopija); b) nugaros smegenys; c) raumenys; d) sausgyslės; e) sąnariai; f) oda; g) akys [7].

Savireguliacija. Motorinė sistema geba kažkaip stebuklingai išspręsti judėjimo problemą, t. y. net gana komplikuotomis situacijomis atlikti sudėtingą judesį, kurio anksčiau niekad neatliko. Manoma, kad šis gebėjimas priklauso nuo savireguliacijos dėsningumo [3, 4]. Kitaip tariant, jei šokant į aukštį iš vietos vienu metu dirba apie 50 raumenų ir milijonai nervinių ląstelių, tai galvos smegenys jų negali valdyti pagal kažkokį šabloną (schema). Tada pagal savireguliacijos principą nervai ir raumenys dirba darniai (susireguliuoja). Nors savireguliacijos principas aiškus, jo veikimo mechanizmas sunkiai suvokiamas.

Teigiama, kad pagrindinis judesio savireguliacijos parametras yra vadinamas „tvarkos“ arba „kolektyvinis“. Deja, gana sunku nustatyti šį „tvarkos“ parametą, nes jis priklauso nuo kontrolinio parametro (judėjimo užduoties). Jei judesių valdymo procese padidinsime elementų (raumenų) kiekį, tai savireguliacijos veiksmingumas nesumažės. Kitaip tariant, jei atskirai kaire ir dešine ranka atliekame judesius, tai valdymo kokybė nesumažės, jei tai atliksime abiem rankom iš karto.

Judesio atlikimo ir jo jausmo prognozavimas. Vienas iš pagrindinių judesių valdymo mechanizmų – galvos smegenų gebėjimas prognozuoti: a) motorinę programą, atsižvelgiant į judesio tikslą, motorinės sistemos būseną ir aplinką; b) motorinės sistemos būseną ateityje, atsižvelgiant į motorinės programos specifiką [6]. Motorinė programa (judesio planas) yra sukuriama dėl aplinkos, judesio tikslo ir organizmo

(motorinės sistemos) būsenos sąveikos. Per daugelį šimtų tūkstančių metų žmogaus (ar kitų gyvūnų) galvoje susiformavo daug vidinių modelių, kuriuos galima suskirstyti į du pagrindinius tipus: a) atvirkštinius (prognozuojančius motorinę programą) ir tiesioginius (prognozuojančius motorinę būseną) [6]. Abiem atvejais prognozė yra statistinė, t. y. tiesioginis modelis prognozuoja, kokia yra tikimybė, kad motorinė sistema atsidurs norimoje būsenoje esant tam tikrai motorinei programai ir aplinkai. Viena iš didžiausių problemų, kylančių galvos smegenyse, kaip adekvačiai įvertinti motorinės sistemos būseną ir aplinkos poveikį. Tai galvos smegenys atlieka dviem pagrindiniais būdais: a) gauna aferentinę informaciją iš motorinės sistemos ir aplinkos; b) galvos smegenyse esantis modelis apibendrina informaciją. Nustatyta, kad vidiniai modeliai geba adaptuotis arba, kitaip tariant, mokytis. Daug kartų atliekant judesius šie modeliai mokosi, t. y. geba tiksliau ir greičiau valdyti judesius.

Valdymo decentralizavimas. Anglų neurologas J. H. Džeksonas (J. H. Jackson, 1835–1911) motorinę sistemą aprašė kaip hierarchiškai susiformavusią. Jis teigė, kad filogenezės ir ontogenezės metu judesiai vystėsi nuo automatinių iki valingų ir tikslių. Buvo pastebėta, kad automatiškesnius judesius kontroliuoja žemesnieji CNS centrai (nugaros smegenys ir smegenų kamienas), o valingus ir tikslius – smegenų žievė. Jo nuomone, aukštesnieji centrai valdo žemesnius slopindami arba jaudindami. Didėjantis aukštesniųjų centrų poveikis vadinamas *encefalizacija*. Pažeidus aukštesnius centrus, pasireškia daugelis simptomų (pvz., sustiprėja nugaros smegenų refleksai). Tada žemesnieji centrai išlaisvinami iš įprastinės kontrolės.

Valdymo decentralizavimas – tai judesių valdymo mechanizmų paskirstymas į tam tikrus valdymo lygius [4]. Pagrindinis decentralizavimo principas teigia, kad kiekvienas aukštesnis judesių valdymo lygis nustato žemesnio funkcijas ir tada mažai kišasi į jo (žemesnio lygio) veiklą. Centralizuoto valdymo, priešingai decentralizuotam, esmė – vienas centras visiems nurodo, ką ir kaip reikia daryti. Decentralizuotas valdymas gali būti vadinamas valdymu pasidalijant atsakomybę (pvz., jei premotorinė ir papildoma motorinė žievė yra atsakingesnė už judesio idėjos (strategijos) suformavimą, tai pirminė motorinė žievė – už motorinės programos sudarymą, o nugaros smegenų kompetencija – įgyvendinti motorinę programą).

Judesių atlikimo veiksmingumas priklauso nuo motorinės žievės ląstelių kolektyvinės veiklos. Seniai pastebėta, kad norint sulenkti ranką šalia agonistų visados aktyvuojami ir raumenys antagonistai (tiesiantys ranką). Kaip besistengtumėme pašalinti iš veiklos antagonistus, to padaryti negalima, nes motorinėje žievėje neįmanoma išskirtinai aktyvuoti tik tas nervines ląsteles, kurios siunčia signalus tik reikalingiems raumenims (agonistams). Kiekvieną kartą yra aktyvuojamos ir nereikalingos ląstelės. Deja, šiandien mokslininkai nemano, kad antagonistus aktyvuojančios ląstelės yra nereikalingos – priešingai, jos suteikia judesiui stabilumo. Nustatyta, kad kiekvieną kartą atliekant judesius gali būti atvyvuojamos kitos nereikalingos

nervinės ląstelės, t. y. neįmanoma nuspėti, kuri iš milijonų nervinių ląstelių bus aktyvuota kiekvienu konkrečiu atveju. Todėl kalbama, kad viso judesio atlikimas priklauso ne nuo pavienių, fiksuotų ląstelių, bet nuo tam tikro ląstelių kolektyvo (visumos) elgsenos. Judesio priežastis – nervinių ląstelių kolektyvinio veikimo vektorinė suma [8]. Paprasčiau tariant, kuo daugiau tame „kolektyve“ nereikalingų ląstelių, tuo mažesnė bus galutinė rankos lenkimo jėga ar greitis. Kaip perprasti „ląstelių kolektyvo“ elgsenos (ir jų valdymo) principus – tai vienas iš svarbiausių ir sunkiausių klausimų, kuriuos kelia mokslininkai. Kaip iš nervinių ląstelių chaotiškos veiklos formuojasi plastiški ir tikslūs judesiai?

Galva, valdydama judesį, ieško „ekologinių partnerių“. Seniai pastebėta, kad žmonės geriau geba atlikti judesius, jei juos atlieka su pažįstamais įrankiais ir žinomoje aplinkoje [4]. Turbūt mažai kam kyla abejonių, kad neįmanoma žaisti krepšinio be kamuolio. Kitas pavyzdys: žmogui gana sunku imituoti ėjimą per smėlį ar vandenį, tačiau jis tai daro be priekaištų realioje aplinkoje. Paprasčiau tariant, galvos smegenims valdyti judesius padeda ir aplinka („ekologiniai partneriai“). Taip atsitinka dėl to, kad galvos smegenys, kaip anksčiau minėjome, per daugelį šimtų tūkstančių metų pažino aplinką, kurioje žmonės judėjo [9]. Patirtis, manoma, užsifiksavo vidinių modelių forma. Todėl norint, kad modelis pradėtų tinkamai valdyti judesį, jam į talką ateina „ekologiniai partneriai“ (pvz., kamuoliai, šaukštai, medžiai, žemės dangą, sunkio jėga ir pan.). Tinkamas „ekologinio partnerio“ parinkimas – tai veiksminga sąlyga judesiui atlikti.

Nustatyta, kad „ekologiniai partneriai“ padeda galvos smegenims greičiau išmokti judesį. Tačiau išmoktas judesys užsifiksuoja galvoje kartu su „ekologiniu partneriu“. Kitaip tariant, judesys ilgiau išlieka mūsų atmintyje, jei mes sujungiame jį su „ekologiniu partneriu“.

JUDESIŲ ATGAVIMO PO INSULTO NAUJOVĖS

Judesių atgavimo bendrieji principai. Judesių atgavimas – tai procesas, kurio metu judesiai išmokstami iš naujo (ar pakartotinai) [10]. Judesių atgavimo po galvos smegenų pažeidimų naujausios metodikos remiasi judesių vidinių modelių valdymo ir atgalinio ryšio mechanizmų optimalaus valdymo susigrąžinimu [11]. Pavyzdžiui, esant galvos smegenų pažeidimui, judesių valdymas yra pablogėjęs daugiau ne dėl raumenų funkcijos sutrikimo, bet dėl galvos smegenų negebėjimo adaptuotis prie raumenų pokyčių [12]. Norint, kad judesių mokymasis paliktų ryškų ir ilgalaikį pėdsaką galvos smegenų žievėje, būtina tą patį judesį atlikti ne mažiau kaip 300–1500 kartų. Tikrai tiek kartų atlikus judesį, struktūriškai pasikeičia motorinė žievė.

Galimi du atgavimo būdai. Pirmas būdas siejamas su visišku pažeistos funkcijos atgavimu. Jis vadinamas tikruoju atgavimu. Antruoju būdu atgaunamas judesys, bet ne tas pats mechanizmas, o kitas, labiau ištreniruotas. Tada galima teigti, kad įvyko kompensacinis judesių atgavimas. Kompensacinis atgavimas pagrįstas judesio atlikimo naujos strategijos pasirinkimu. Tai dažniausiai atsitinka galūnės amputacijos, Parkinsono ligos, nugaros smegenų pažeidimo ir Dauno sindromo atveju. Kompensacinis atgavimas labiau paplitęs negu

Jei nėra tinkamos aplinkos (situacijos, „ekologinio partnerio“), tai gana sunku atsimiti net ir gerai išmoktą judesį. Paprasčiau tariant, žmonėms geriau išmokti judesius padeda „ekologinių partnerių“ įvairovė ir patrauklumas. Tada greičiau galvos smegenys sukuria bendrą komandą su aplinka, nes žmogų traukia įdomūs, įvairūs, originalūs daiktai (pvz., įrankiai). Sistemų valdymo moksle labai paplitęs reikalaujamas įvairovės dėsnis, kuris teigia, kad sistema veiksmingiau valdoma tada, kai ji turi didelę įvairovės patirtį. Būtina žinoti, kad žmogus niekad negalės labai tiksliai įvertinti esamos aplinkos, kaip ir negalės jos tiksliai prognozuoti. Jis visados privalės nuspėti esamą ir būsimą aplinką. Galima sakyti, kad žmogus, atlikdamas judesius, „žaidžia su aplinka“.

Judesių koordinavimas. Valdant sudėtingus judesius (t. y. judesius, kuriuos realizuoja daug raumenų, tarp jų ne tik antagonistai, bet ir priešingos kūno dalies raumenys) būtina koordinuoti daugelio raumenų veiklą [3, 4]. Tuo tikslu gali susiformuoti laikinos darniai dirbančios koordinacinės (sinerginės) struktūros. Koordinacinių struktūrų veikla nėra vien tik jos dalių suma. Pavyzdžiui, kairė ir dešinė ranka atskirai dirba kitaip nei tada, kai jos kartu. Dešiniarankis žmogus kaire ranka atskirai sureaguoja į šviesos dirgiklį per 180 ms, dešine – per 160 ms. Kai reikia reaguoti į tą patį dirgiklį abiem rankom iš karto, tai tiek kairė, tiek dešinė reaguoja vienodai – per 170 ms. Kitaip tariant, kairė ir dešinė ranka antruoju atveju suformavo laikiną koordinacinę struktūrą, kuri kairę ranką pagreitino, o dešinę sulėtino. Koordinacinės struktūros daugeliu atvejų susiformuoja spontaniškai ir kiekvieną kartą kitaip. Todėl koordinacinių struktūrų formavimas panašesnis į kūrybinį, kupiną paieškos procesą nei į mechanistinį pakartojimą ar atkartojimą. Dar daugiau – jei vienas koordinacinės struktūros elementas padaro klaidą, tada akimirksniu ją bando ištaisyti kiti [1].

tikrasis. Kompensaciniai pokyčiai daugiausia vyksta galvos smegenų motorinėje žievėje, kuri plastiškai kinta priklausomai nuo funkcinių ir / ar struktūrinių paskatų [13]. Abiem būdais atgaunant judesius, būtina atlikti tuos, kurie pagreitina reabilitacijos procesą.

Judesių atgavimo veiksmingumas priklauso nuo to, kuriuo organizmo ontogenezės etapu jis buvo pažeistas [10, 14]. Pavyzdžiui, naujagimių motorinės žievės pažeidimai gali daug greičiau atsigausti nei suaugusiųjų, kuriems jie dažnai būna negrįžtami. Be to, pažeidus vieną motorinės žievės dalį, gali pasilpti kitų galvos smegenų žievės dalių funkcija [13, 15]. Tai ypač pastebima tarp jaunesnio amžiaus asmenų.

Motorikos atgavimo tempai priklauso nuo jos pažeidimo laipsnio ir greičio. Kuo didesnis pažeidimas ir kuo staigiau pažeidžiama, tuo motorinė funkcija atsigauna lėčiau. Be to, jei gyvūno motorinė žievė pažeidžiama hipokinezijos sąlygomis, tai jos atsigaivimas labai sulėtėja, lyginant su atsigaivimu po tokio pat pažeidimo, kai judėjimo aktyvumo būseną normali.

Tyrimai su gyvuliukais parodė, kad greičiau atsigauna ta motorinė sistema, kuri labiau ištreniruota atlikti įvairius judesius. Be to, atsigaunama tuo intensyviau, kuo anksčiau tai pradeda daryti ir kuo daugiau atliekama

judesių, susijusių su pažeista funkcija [14, 15]. Šiuo metu reabilitacijos srityje vis didesnis dėmesys kreipiamas į judesių atikimo kintamumą [10]. Tada žmogus ne tik greičiau iš naujo išmoksta atlikti judesius, bet ir geba juos plačiau pritaikyti įvairiomis situacijomis. Ypač svarbu, kad atliekant judesius būtų keičiamas kontekstas – aplinka, kuri būtų panaši į realią, kasdienę. Gana svarbu reabilitacijos proceso metu atlikti judesius taip, kad kuo daugiau dirbtų galvos smegenys. Dėl to nebūtina iš eilės atlikti daug panašių judesių, o reikia stengtis, kad naujus judesius pacientas atliktų gana netikėtai.

Apibendrinant naujausius mokslo pasiekimus galima suformuoti motorinės sistemos reabilitacijos moderniuosius principus. Jie atsirado bandant ištaisyti klasikinio redukcionistinio požiūrio medicinoje klaidas. Tos klaidos atsiradavo dėl to, kad žmogaus gydymas buvo suprantamas ne kaip visos sistemos funkcijų atsigavimas, bet jos atskirų dalių „suremontavimas“. Mažiausios intervencijos principas rodo, kad pacientas pats iš vidaus turi pradėti gyti, nes dažnai dėl per intensyvių poveikio priemonių yra prislopinama vidinė atsigavimo jėga. Norint kad atsigavimas būtų optimalus, būtina taikyti ne vieną, bet daugelį poveikio priemonių (pvz., fizinius pratimus, derinamus su masažu, šildymą ir pan.). Būtina parinkti tokias poveikio priemones (poveikio priemonių sistema), kad jos kartu duotų sinerginį poveikį, t. y. didesnį nei jų atskiro poveikio suma.

Judesių atgavimo strategijos. Dabartiniu metu yra žinomos šios judesių atgavimo strategijos: a) funkcinė treniruotė; b) judesių mokymas; c) motorinės sistemos treniravimas; d) judesių kompensavimas. Funkcinės treniruotės metu yra atliekami įvairūs būtiniai judesiai (pvz., valgio gaminimas). Labai svarbu, kad judesiai būtų atliekami siekiant tam tikro tikslo, nes tikslas mobilizuoja centrinę nervų sistemą veiksmingesniam judesių valdymui. Funkcinės treniruotės metu didelis dėmesys turi būti kreipiamas į aplinkos, kurioje atliekami judesiai, keitimą. Judesio mokymo strategijos, taikomos atgaunant motorinę sistemą, pagrindiniai principai yra šie: a) aiškus judesio tikslas; b) grįžtamoji informacija apie judesio atlikimą; c) motyvavimas. Motorinės sistemos treniravimo strategija remiasi pusiausvyros, koordinacijos, lankstumo, jėgos, galingumo ir ištvermės ugdymu. Tai labiau primena fizinių ypatybių ugdymą. Judesių kompensavimo strategija, taikoma atgaunant motorinės sistemos funkcijas, akcentuoja optimalių judesių valdymo būdų paiešką tam tikru atveju. Pavyzdžiui, jei dėl nervų ir raumenų pažeidimo žmogus negali apsirengti įprastai, tada jis mokomas apsirengti kitu būdu.

Judesių atgavimas po galvos smegenų insulto.

Tik 10% žmonių, kurie patyrė insultą, visiškai atsigavo ir sėkmingai sugrįžo į darbą; 40% grįžo į darbą, nors jų motorinė funkcija visiškai neatsigavo; kitiems 40% motorinės sistemos negalia išliko ir jie negalėjo gerai atlikti prieš tai buvusio darbo; 10% žmonių atsigavo labai blogai, todėl jiems buvo reikalinga nuolatinė pagalba ir aktyvi reabilitacija.

Vienas iš svarbiausių motorinės ir sensorinės žievės funkcijų atgavimo po insulto metodikos ypatumų yra geras miegas ilsintis po fizinių pratimų [16]. Reabilitavimo po insulto mokslas žengia tik pirmuosius žingsnius, nors

milijonai žmonių miršta ar negali visiškai integruotis į visuomenę dėl „blogo mokslo“ ar „blogos praktikos“. Problema yra ta, kad žmonės po insulto daug mažiau juda nei reikėtų.

Pažeidimo poveikis judesių valdymui. Praėjus 2–6 savaitėms po insulto, motoneuronų sumažėja apie 50%, sumažėja jų impulsavimo dažnumas, pablogėja tarpraumeninė koordinacija (sunku aktyvuoti vien tik raumenį agonistą, nes kartu aktyvuojamas ir antagonistas). Be to, nesant normaliam aktyvavimui, raumuo atrofuojasi, sutrumpėja, jame susikaupia daugiau jungiamojo audinio ir pasidaro mažiau plastiškas. Tai pagrindinės priežastys, dėl kurių po insulto sumažėjo raumenų valingo susitraukimo jėga, jėgos išugdymo greitis, ir ypač tada, kai raumuo yra mažo ilgio. Judesiai atliekami trūkčiojant (neplastiškai) ir netiksliai. Be to, kai atliekami judesiai rankomis, aktyvuojama daug nereikalingų kitų raumenų, net ir kojų.

Dažniausiai žmogų galvos smegenų insultas ištinka dėl vidurinės smegenų arterijos infarkto. Galvos smegenų insulto atveju labiausiai pažeidžiami smulkūs judesiai. Pažeidimai atsiranda motorinėje ir sensorinėje žievėje (kartais ir kitose galvos smegenų vietose) [17]. Vien tik motorinė žievė pažeidžiama labai retai. Beveik nesutinkama pavyzdžių, kad būtų pažeista tam tikra pirminės motorinės žievės dalis, kuri aktyvuoja, pavyzdžiui, vieną rankos pirštą. Kitaip tariant, jei insultas įvyksta labai lokaliaje vietoje, tada pažeidžiamas ne vienas, bet daugelis judesių. Taip atsitinka dėl to, kad galvos smegenys reaguoja į pažeidimą kaip visuma. Pažeidimo vieta po insulto plečiasi ir jis gali būti negrįžtamas, jei nėra taikoma reabilitacija.

Labiausiai pažeidžiamas šoninis piramidinis laidas (lot. *tr. corticospinalis lateralis*; jis yra pagrindinis), kuris perduoda signalą iš motorinės žievės piramidinių ląstelių į nugaros smegenis [18]. Kadangi šis laidas kryžiuojasi pailgosiose smegenyse ir leidžiasi žemyn, dėl to labiausiai pažeidžiamas priešingos pusės judesių valdymas [17]. Aksonai, kurie nesikryžiuoja pailgosiose smegenyse, sudaro nusileidžiantį priekinį piramidinį laidą (lot. *tr. corticospinalis ventralis*). Priekinis piramidinis laidas dėl insulto yra mažiau pažeidžiamas, todėl po insulto jis iš dalies kompensuoja šoninio piramidinio laido funkciją. Priekinis piramidinis laidas inervuoja tas nugaros smegenų vietas, kuriose yra proksimalinius raumenis inervuojantys motoneuronai. Be to, šoninio piramidinio laido funkcijos pažeidimą kompensuoja dar du laidai – retikulospinalinis ir rubrospinalinis. Šie laidai informaciją daugiau perduoda proksimaliniams viršutinių galūnių raumenims. Visa tai leidžia aiškiai suprasti, kodėl po insulto judesiai atliekami trūkčiojant ir netiksliai, nes tada labiau dirba grubūs, t. y. proksimaliniai raumenys. Jei motorinės žievės pažeidimas nėra didelis, pažeistos nervinės ląstelės atsigauna gana greitai; jei pažeidimas motorinėje žievėje vidutinio dydžio, judesio valdymas yra kompensuojamas pasitelkiant priekinį piramidinį bei retikulospinalinį ir rubrospinalinį laidas; jei pažeidimas didelis, ypač suintensyvėja priešingo pusrutulio motorinė žievė.

Po galvos smegenų insulto rankų jėga sumažėja mažiau nei kojų, distalinių raumenų jėga labiau nei

proksimalinių, rankų tiesimo jėga labiau nei lenkimo, kojų lenkimo jėga labiau nei tiesimo. Jei yra pažeista kairiojo pusrutulio vidurinė smegenų arterija, tada kartu su judesiu valdymo pablogėjimu sutrinka ir paciento kalba. Norint atgauti motorinės ir sensorinės žievės funkcijas (ypač pirminės ir antrinės motorinės žievės), pirmiausia reikia taikyti daugiau judesiu, kurių metu dirba smulkieji raumenys (pirštų, riešo, rankos), ir judesiai turi būti atliekami kiek galima realesnėje aplinkoje (pvz., atliekant įvairius technologinius judesius). Esant galvos smegenų insultui, sutrinka ne tik distalinių (rankos), bet ir proksimalinių (liemens) judesiu valdymas [17]. Taigi po insulto gali padidėti raumenų spazmiškumas, t. y. raumenys gali priešintis net ir lėtam ištempimui. Išskirtinis pažeistos galūnės valdymo bruožas – trūkčiojantys judesiai. Tada galvos smegenys judesius valdo tam tikromis dalimis (pvz., ėjimas pasidaro panašus į žirkliavimą) [3].

Po insulto pablogėja ne tik pažeistos, bet ir priešingos galūnės judesiu valdymas. Taip atsitinka dėl to, kad pažeistam galvos smegenų pusrutuliui valdyti judesius padeda nepažeistos (arba mažiau pažeistos) priešingo pusrutulio smegenys. Kuo labiau padeda nepažeistas pusrutulis, tuo blogiau atsigauja pažeisto pusrutulio motorinė ir sensorinė žievė.

Dvi pagrindinės reabilitacijos po insulto strategijos. Motorinės ir sensorinės žievės ląstelės adaptuojasi plastiškai. Pavyzdžiui, po insulto atsigauja pažeistos ląstelės, susidaro nauji ląstelių ryšiai (tinklai). Galima sakyti, kad galvos smegenys reorganizuojasi. Fizinis aktyvumas (optimalus) pagreitina ląstelių atsinaujinimą. Pavyzdžiui, fizinis aktyvumas skatina baltymų sintezės procesus, vykstančius nervinėse ląstelėse. Tada susiformuoja naujos sinapsės ir auga aksonai [19, 20, 21].

Sutinkamos dvi reabilitacijos po insulto strategijos: a) kompensacinė (*Brunnstrom* strategija) ir b) pažeistų nervų atgavimo. Kompensacinė strategija, vyravusi prieš 5–15 metų, pabrėžė judesiu valdymo atgavimą kitu (ne pažeistu) mechanizmu. Yra labai daug būdų, kaip paimti kavos puodelį nuo stalo ir prikišti prie lūpų. Jei vienu būdu negalima, tai galima padaryti kitu. Kompensacinė strategija neleidžia atgauti pažeistų nervų, ji net dar labiau pagilina ir praplečia jų pažeidimą. Dėl tos priežasties dabartiniu metu vis didesnis dėmesys skiriamas pažeistos motorinės ir sensorinės žievės funkcijų atgavimui. Tai galima padaryti pacientams atliekant judesius tokiu būdu, kuris garantuoja didesnę pažeistų nervų aktyvumą. Pacientai po insulto gana greitai geba išmokti naujus judesius – jų mokymosi greitis panašus į sveikų žmonių, nors absoliutus pacientų judesiu valdymo veiksmingumas yra kur kas blogesnis [22]. Jei po galvos smegenų insulto atliekant judesius yra aktyvuojamos papildomos (nepažeistos) galvos smegenų žievės dalys, judesiu atsigavimas užsitęs [17].

Pasirodo, asmens po insulto judesiu atgavimo galimybės kur kas mažesnės nei sveiko žmogaus judesiu mokymosi. Tai gana gerai žinomas fenomenas reabilitacijos teorijoje ir praktikoje. Tačiau iki šiol ir mokslininkai, ir praktikai, dirbantys reabilitacijos srityje, susidūrė su milžiniškais sunkumais norėdami praplėsti

asmens reabilitacijos galimybes. Visiškai neseniai pastebėta, kad reabilitacijos rezultatai gali būti geresni, kai judesiai atliekami dinamiškoje aplinkoje [23].

Jei atsigavimo laikotarpiu judesiai nėra atliekami pažeista galūne, tai neatsigauna ne tik pažeistos motorinės žievės nervinės ląstelės, bet pažeidimo procesas plinta į kitas (sveikas) motorinės žievės dalis. Be to, kai pažeista motorinė žievė valdo tam tikrą judesį (pvz., atrakinant duris), dirba daugiau motorinės žievės ląstelių nei tada, kai tas pats judesys buvo atliekamas prieš insultą. Po insulto šie pažeistos motorinės žievės adaptaciniai procesai labai greitai pasireiškia. Pavyzdžiui, jei yra pažeistas distalinių raumenų valdymas, tada motorinė žievė labai greitai pasitelkia kompensavimo mechanizmą – daugiau aktyvuoja proksimalinius raumenis. Supaprastintai tariant, motorinė žievė stengiasi valdyti judesius taip, kad būtų pasiektas galutinis tikslas (pvz., durų atrakinimas). Tačiau tai ji daugiau daro sveikomomis motorinės žievės dalimis, tuo pačiu pažeistas palikdama savaiminiam gijimui (pasitelkiant reabilitacijos specialistus, padėti atsigauti pažeistoms ir likimo valiai paliktoms motorinės žievės dalims).

Judesiu atsigavimo po insulto sėkmė labai priklauso nuo kineziterapijos metodų taikymo veiksmingumo per pirmas savaites – po mėnesio gali būti vėlu. Iš to, kaip greitai atsigauja judesiu valdymas per pirmas 1–3 savaites, galima prognozuoti galutinę reabilitacijos sėkmę. Šiuolaikiniame reabilitacijos po insulto moksle ir praktikoje konkuruoja dvi skirtingos idėjos. Pirmą idėją – judesiu atgavimas privalo vykti nuosekliai ir reguliariai kartojant judesius. Antrą idėją – judesiai turi būti atliekami nereguliariai, spontaniškai, t. y. „kartojant nepakartojant“. Kuri idėja laimi? Nuo seno daugiau pirmos idėjos šalininkų, tačiau antrosios šalininkų gretos šiandien auga milžinišku greičiu.

Yra žinomi šie judesiu po insulto taikymo būdai:

- užduoties sudėtingumas (pvz., paimti nuo stalo adatą ar kavos puodelį);
- glaustas vieno tipo judesiu atlikimas (pvz., daug kartų paimti nuo stalo kavos puodelį; per keturias savaites vaikščioti apie 20 valandų, t. y. apie 5 valandas per savaitę);
- kintamas judesiu atlikimas (pvz., vieną kartą paimti nuo stalo kavos puodelį, kitą – adatą, trečią – pirštu paliesti nosį, ketvirtą – nusiimti kepurę ir pan. (šis judesiu atlikimo būdas reabilitacijos srityje yra veiksmingesnis nei glaustas to paties judesio atlikimas);
- grįžtamosios informacijos apie judesio atlikimo būdą ir / ar pasiektą tikslą dažnumas (veiksmingiausia tada, kai kas trečią–penktą kartojimą pateikiama išsamesnė informacija apie judesio atlikimo būdą ir / ar rezultata). Judesiu atsigavimas yra veiksmingesnis, kai pacientui pateikiama informacija ne apie tai, kaip reikia atlikti judesį, o nurodama, ką reikia daryti. Labai svarbu, kad pacientas neapsiribotų vien kineziterapeuto teikiama informacija. Pacientas pats turi gebėti įvertinti atliekamo judesio kokybę. Be to, realiame gyvenime žmogus retai iš eilės atlieka tokį pat judesį, t. y. atlikdamas judesį jis negali pasinaudoti prieš tai buvusio judesio informacija. Dėl

šių priežasčių šiuolaikinės reabilitacijos po insulto metodikos rekomenduoja pacientui teikti vis mažiau informacijos apie judesio atlikimą.

Kadangi po galvos smegenų insulto ypač pablogėja raumenų jėgos valdymas esant mažam raumens ilgiui, todėl rekomenduojama daugiau atlikti pratimų (dėl veiksmingesnės reabilitacijos), kai raumuo būna ilgas.

Centrinės nervų sistemos atsigavimui svarbi somatosensorinio jausmo funkcija. Taikant įvairius dirgiklius, pavyzdžiui, šildymą, šaldymą, lietimą, odos suspaudimą ar elektrostimuliaciją, yra aktyvinama pirminė ir antrinė somatosensorinė žievė. Be to, somatosensorinė žievė yra aktyvinama, kai atliekame judesius užmerktomis akimis ar apribota klausa.

Šiuo metu nėra aiškios nuomonės dėl raumenų jėgos ugdymo naudoti reabilitacijos metu po galvos smegenų insulto. Daugiau yra manančių, kad jei ir reikia atlikti jėgos pratimus, tai galima daryti tik vėlesniu atsigavimo laikotarpiu (pvz., po 2–6 mėn. nuo insulto pradžios) [17]. Taikant jėgos ugdymo pratimus negalima užmiršti, kad praėjus 4–8 savaitėms po insulto dėl mažo judėjimo aktyvumo atrofuojasi raumuo. Norint kad raumuo visiškai neprarastų savo susitraukimo funkcijos, būtina pastimuliuoti raumenų baltymų sintezės mechanizmus. Tai galima atlikti elektra stimuliuojant raumenį, jį masažuojant, darant tempimo pratimus. Po galvos smegenų insulto pacientams rekomenduojama atlikti ir aerobinius pratimus, kurie kartu stiprina motorinę bei širdies ir kraujagyslių sistemas.

Pagrindinis judesio valdymo atgavimo principas – centrinei nervų sistemai suteikti galimybę pačiai atrasti optimalų judesio atlikimo kitomis sąlygomis (ligos, traumos metu) būdą. Nustatyta, kad insulto pažeista motorinė žievė geba išmokyti valdyti raumenis kitomis sąlygomis [2, 25]. Motorinė žievė labiau dirba ne tada, kai pratimai atliekami su svarmenimis, bet kai daromi didelio tikslumo ir koordinacijos reikalaujantys pratimai. Pažeistos galūnės atsigavimui reikia mažiausio fizinio aktyvumo, skatinančio nervų sistemos atsigavimą. Mokslininkai nėra vieningos nuomonės, tačiau jo trukmė turėtų svyruoti nuo 16 iki 100 valandų per mėnesį.

Šiuolaikinis mokslo žodis – robotų taikymas. Dabartiniu metu judesio atsigavimui pagreitinanti pradėti taikyti robotai. Pagrindinė robotų taikymo idėja yra ta, kad robotai leidžia keisti pasipriešinimo dydį ir kryptį atliekant judesius. Kitaip tariant, robotai leidžia sukurti dinamišką aplinką, kurioje yra atliekami judesiai. Dinamiškoje aplinkoje atliekami judesiai greičiau atsigauna nei atliekami nekintamoje aplinkoje [12, 26]. Judesių reabilitacijai pagreitinanti dar yra naudojama virtuali aplinka, kurioje atliekami judesiai (pvz., tam yra taikomi įvairūs kompiuteriniai žaidimai). Deja, dėl jų taikymo naudoti šiuo metu mokslininkai dar neturi aiškios nuomonės. Šiuolaikiniai mokslo pasiekimai rodo, kad norint optimizuoti judesio valdymo atsigavimą, būtina keisti judėjimo užduotis, aplinką ir motorinės sistemos būseną. Tai aktyvina centrinės nervų sistemos veiklą. Be to, dabar didelis dėmesys yra skiriamas paieškai, kaip sukurti optimalius robotus, padedančius pacientui atlikti judesį pagal jo mintį. Svarbiausi kasdieniai pratimai po insulto yra šie: ėjimo, tempimo, pusiausvyros ir

koordinacijos, funkcinės ir dinaminės jėgos, smulkiosios motorikos ir tikslieji [17].

Viena iš sėkmingiausių judesio atgavimo metodikų – judesio apribojimo metodika. Po insulto nepažeista motorinė ar sensorinė žievė siunčia slopinamąjį signalą kito pusrutulio motorinei ar sensorinei žievei. Pavyzdžiui, jei po insulto judesiai bus atliekami vien nepažeista ranka, tada lėčiau atsigaus pažeistos galvos smegenų žievės. Viena iš populiariausių judesio atgavimo po insulto metodikų yra judesio apribojimo metodika (jos esmė – apribojami nepažeistos galūnės judesiai ir glaustai (pvz., 3–6 h per dieną) atliekami judesiai pažeista galūne) [27]. Norint kad pacientas neatliktų judesio nepažeista galūne, dažniausiai prie nepažeistos galūnės yra pritvirtinamas svarmuo, kuris sukelia nepatogumų judesiu atlikti. Dar vienas išskirtinis CIT metodikos bruožas yra tas, kad judesiai, atliekami pažeista galūne (pvz., ranka), yra spontaniški, t. y. priklausomi nuo situacijos. Kai pacientas atlieka įvairius buitinius judesius (pvz., nuo stalo paima kavos puodelį), jis tai atlieka ne pagal iš anksto sukurtą motorinę programą ir beveik niekad iš eilės neatlieka tokių pat judesio. Pasirodo, spontaniškai atliekami judesiai labiau skatina galvos smegenų atsigavimą nei daug kartų kartojant standartinius judesius.

Po insulto ypač sumažėja judesio dinamiškumas, t. y. gebėjimas atlikti judesius kintamoje aplinkoje. Dėl dabartiniu metu labai plačiai pradedama naudoti robotus, kurie padeda greičiau atsigauti po insulto. Robotai leidžia atlikti judesius ne fiksuotoje, bet dinamiškoje (kintamoje) aplinkoje [28, 29].

Pusiausvyros stabilumo atgavimas. Pusiausvyros stabilumo atgavimo metodikų esmė – treniruojantis išlaikyti pusiausvyrą esant tam tikriems išoriniams trukdžiams (pvz., kai pacientas daro lėtą įtūpstą, kineziterapeutas rankomis arba guma bando sutrukdyti). Pusiausvyros stabilumo atgavimui labai tinka kinų *Tai Chi* pratimų sistema, kuri akcentuoja lėtą pratimų atlikimą stabiliai išlaikant pusiausvyrą [18]. Atliekant vien aerobinę ištvėrmę ar raumenų jėgą ugdančius pratimus, pusiausvyros stabilumas negerėja. Todėl būtina juos derinti su pusiausvyros pratimais. Pusiausvyros stabilumą gerinančių pratimų yra labai daug (pvz., ėjimas kintamoje aplinkoje, pratimai užsimerkus, pratimai stengiantis išlaikyti pusiausvyrą vien distaliniais arba vien proksimaliniais kojos raumenimis, pusiausvyros išlaikymas viena koja, pratimai suteikiant grįžtamąją informaciją apie raumenų darbą (informacija gaunama registruojant raumenų elektromiogramą, EMG), dvigubos užduoties pratimai, pavyzdžiui, darant lėtus įtūpstus atliekamos tam tikros loginės užduotys (sudėti, sudauginti ar padalyti skaičius) ir kt.

Naujausi mokslo pasiekimai: funkcinis nervų ir raumenų stimuliavimas, neuroprotezai, pažeistų nervinių ląstelių atauginimas. Funkcinis raumens stimuliavimas – paralyžuotų raumenų stimuliavimo sistema, leidžianti aktyvinti raumenis taip, kaip tai daroma valingai. Galima stimuliuoti ne tik raumenis ir jį aktyvuojančius eferentus, bet ir aferentus. Stimuliuojant aferentus atgaunama sensorinės žievės funkcija, t. y. judesio jausmo sistema (sensorinė sistema).

Naujausias mokslo žodis: a) neuroprotezų taikymas [30]; b) pažeistų nervinių ląstelių atauginimas [17]. Mokslininkai nori suprasti, kaip būtų galima: a) sukurti tokį mechanizmą-protezą, kuris paklustų žmogaus valios pastangoms (mechanizmą, kuris iš nervinių ląstelių aktyvumo suprastų, kokį judesį žmogus nori atlikti; be to, šis mechanizmas turi vietoje pažeistų

nervinių ląstelių siųsti į raumenis optimalią motorinę komandą-programą); b) atauginti dėl insulto pažeistas nervines ląsteles. Pirmutiniai žingsniai toje srityje jau yra žengti, pavyzdžiui, gana sėkmingai bandoma vietoje pažeistų ląstelių implantuoti kitas sveikas ląsteles (www.carecure.atinfopop.com).

LITERATŪRA

1. Todorov, E. (2004). Optimality principles in sensorimotor control, *Nature Neuroscience*, 2004, 7 (9), 907–915.
2. Shadmehr, R., Wise, S. P. (2005). *Computational Neurobiology of Reaching and Pointing: A Foundation for Motor Learning*. Cambridge MA: MIT Press.
3. Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological Basis of Movement*. 2nd edition. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
4. Bernstein, N. (1967). *The Co-ordination and Regulation of Movements*. London: Pergamon Press.
5. Davids, K., Bennet, S., Newell, K. (2006). *Movement Systems Variability*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
6. Wolpert, D. M. (2007). Probabilistic models in human sensorimotor control. *Human Movement Science*, 26 (4), 511–524.
7. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M. (2000). *Principles of Neural Science*. New York: McGraw-Hill.
8. Georgopoulos, A. P., Taira, M., Lukashin, A. (1993). Cognitive neurophysiology of motor cortex. *Science*, 260, 47–52.
9. Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston, MA: Houghton-Mifflin.
10. Krakauer, J. W. (2006). Motor learning: Its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Current Opinion in Neurology*, 19, 84–90.
11. *The Academy of Medical Sciences*. (2004). Restoring neurological function: Putting the neurosciences to work in neurorehabilitation. Internet link: <http://www.acmedsci.ac.uk/>.
12. Pollock, A., Baer, G., Langhorne, P., Pomeroy, V. (2007). Physiotherapy treatment approaches for the recovery of postural control and lower limb function following stroke: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 21 (5), 395–410.
13. Sanes, J. M., Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and primary motor cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 393–415.
14. Shumway-Cook, A., Woollacott, M. H. (2007). *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins.
15. Lundy-Ekman, L. (2007). *Neuroscience: Fundamentals for Rehabilitation*. 3rd edition. Saunders.
16. Siengskun, C. F., Boyd, L. A. (2008). Sleep enhances implicit motor skill learning in individuals poststroke. *Top Stroke Rehabilitation*, 5 (1), 1–12.
17. Dobkin, B. H. (2005). Rehabilitation after stroke. *The New England Journal of Medicine*, 352, 1677–1684.
18. Selzer, M., Clarke, S., Cohen, L., Duncan, P., Gage, F. (2006). *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation: Volume 2, Medical Neurorehabilitation*. Cambridge: Cambridge University Press.
19. Nudo, R. J. (2007). Postinfarct cortical plasticity and behavioral recovery. *Stroke*, 38 (2), 840–845.
20. Carmichael, S. T. (2008). Themes and strategies for studying the biology of stroke recovery in the poststroke epoch. *Stroke*, 39 (4), 1380–1388.
21. Swayne, O. B., Rothwell, J. C., Ward, N. S., Greenwood, R. J. (2008). Stages of motor output reorganization after hemispheric stroke suggested by longitudinal studies of cortical physiology. *Cerebral Cortex*, 18 (8), 1909–1922.
22. Winstein, C. J., Merians, A. S., Sullivan, K. J. (1999). Motor learning after unilateral brain damage. *Neuropsychologia*, 37 (8), 975–987.
23. Page, S. J., Gater, D. R., Bach, Y. R. P. (2004). Reconsidering the motor recovery plateau in stroke rehabilitation, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 1377–1381.
24. Richards, L. G., Stewart, K. C., Woodbury, M. L., Senesac, C., Cauraugh, J. H. (2008). Movement-dependent stroke recovery: A systematic review and meta-analysis of TMS and fMRI evidence. *Neuropsychologia*, 46 (1), 3–11.
25. Cramer, S. C. (2008). Repairing the human brain after stroke: I. Mechanisms of spontaneous recovery. *Annual Neurology*, 63 (3), 272–287.
26. Krakauer, J. W. (2005). Arm function after stroke: From physiology to recovery. *Seminar of Neurology*, 25 (4), 384–395.
27. Taub, E., Perkins, C., Gauthier, L., Uswatte, G. (2008). MRI infarction load and CI therapy outcomes for chronic post-stroke hemiparesis. *Restoration Neurology Neuroscience*, 26 (1), 13–33.
28. Takahashi, C. D., Der-Yeghiaian, L., Rehan, Vu. L., Motiwala, R. R., Cramer, S. C. (2008). Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*, 131, 425–437.
29. Prange, G. B., Jannink, M. J., Groothuis-Oudshoorn, C. G., Hermens, H. J., Ijzerman, M. J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *The Journal of Rehabilitation Research Development*, 43 (2), 171–184.
30. Fetz, E. E. (2007). Volitional control of neural activity: Implications for brain-computer interfaces. *The Journal of Physiology*, 579 (3), 571–579.

NEW TECHNOLOGIES OF MOTOR CONTROL AND REHABILITATION

Albertas Skurvydas

Lithuanian Academy of Physical Education

SUMMARY

Modern paradigms of motor control and rehabilitation are analyzed in the paper. Two main paradigms, i. e. computational approach and dynamical system approach are engaged in rivalry in motor control and learning research at present. From the standpoint of computational paradigm the principal mechanism of motor control and learning consists in the ability of the brain “to calculate” (acting as some kind of biological computer). According to the paradigm of dynamical systems the mechanism of motor control is time dependent. In other words, it can be different each time. The main principles of motor control and properties of movements are given considerable attention in the paper. Besides, modern methods of motor rehabilitation after stroke are emphasized in the paper. Fitting of neuroprosthesis and restoration of damaged neural cells are significant maiden steps in modern science. The scientists are engaged in search for: a) constraining such mechanism prosthesis that would submit to the efforts of human will and b) restoring neural cells damaged because of the brain stroke suffered.

Keywords: motor control, rehabilitation, stroke.