

# JUDESIŲ VALDYMO ŠIUOLAIKINĖS TEORIJOS

**Albertas Skurvydas**

*Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva*

**Albertas Skurvydas.** Habilituotas biomedicinos mokslų daktaras. Lietuvos kūno kultūros akademijos Rektorius, Fiziologijos ir kineziterapijos katedros profesorius. Mokslinių tyrimų kryptis — motorinės sistemos kompleksinė ir dinaminė adaptacija.

## SANTRAUKA

Šiandien judesių valdymo ir mokymo tyrimų srityje konkuruoja dvi pagrindinės paradigmos (teorijos): statistinė (angl. „computational approach“) ir dinaminių sistemų (angl. „dynamical system approach“). Statistinės paradigmos požiūriu, judesių valdymo ir mokymo pagrindinis mechanizmas — tai galvos smegenų gebėjimas „skaičiuoti“ (biologinis kompiuteris). Galvos smegenys skaičiuoja pagal daugelį principų ir dėsnų. Vienas iš populiariausių principų — Bayes statistika. Anot dinaminių sistemų paradigmos, judesių valdymo mechanizmas formuojasi laike. Kitaip tariant, jis kiekvieną kartą gali būti kitas. Tai priklauso nuo žmogaus organizmo būsenos, aplinkos specifikos ir žmogaus tikslų. Remiantis skaičiavimo logika, 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, galvoje „ištiesina“ daugelį fenomenų, kurie yra netiesiniai periferijoje (pačiame judesyje).

Skaičiavimai dažniausiai naudojami dviem pagrindiniais atvejais: a) prognozuojant judesių atlikimą (iš anksto, be grįžtamojo ryšio-informacijos apskaičiuojamas judesio atlikimas); b) tikslinant judesių atlikimą (grįžtamojo ryšiu). Dinaminių sistemų požiūriu, galvos smegenys negali spėti apskaičiuoti, pavyzdžiui, visų galimų judesių trajektorijų, nes tai ne tik neįmanoma, bet ir neekonomiška. Todėl manoma, jei ir vyksta skaičiavimas, tai daugeliu atvejų spontaniškai, t. y. darant daug klaidų.

Straipsnyje nagrinėjamos pagrindinės judesių savybės (dinamiškumas, spontaniškumas, stabilumas, adaptyvumas) ir šiuolaikinės judesių valdymo teorijos (refleksinė, hierarchinė, motorinės programos, tikslingoji, informacinė, sistemų, schemas, pusiausvyros taško, dinaminių sistemų, ekologinė, vidinių modelių ir nevaldomos įvairovės). Didelis dėmesys kreipiamas į šių teorijų pritaikymo galimybes sporto ir reabilitacijos srityse.

**Raktažodžiai:** judesių savybės, judesių valdymas, teorijos.

## ĮVADAS

**K**albant apskritai, judesius galima valdyti dviem būdais: valingai (sąmoningai) ir nevalingai. Pirmuoju atveju žmogaus smegenys mąsto inteligentiškai, antruoju — automatiškai (Hastie, Dawes, 2001). Išskirtinis inteligentiško valdymo bruožas yra tas, kad jo metu centrinė nervų sistema prognozuoja ir kuria naujus judesius. Automatiškas valdymas (mąstymas) yra pagrįstas anksčiau išmokytų schemų, šablonų, situacijų automatišku atlikimu.

Šiandien, tiriant judesių valdymą ir mokymą, konkuruoja dvi pagrindinės paradigmos (teorijos): statistinė (angl. „computational approach“) ir dinaminių sistemų (angl. „dynamical system approach“) (Wolpert, Grahramani, 2000; Zatsiorsky, 2002; Todorov, 2004; Shadmehr, Wise, 2005; Kording et al., 2007; Latash et al., 2007; Wolpert, 2007). Statistinės paradigmos požiūriu, judesių valdymo ir mokymo pagrindinis mechanizmas — tai galvos smegenų gebėjimas „skaičiuoti“ (biolo-

ginis kompiuteris). Galvos smegenys skaičiuoja pagal daugelį principų ir dėsnių. Viena iš populiariausių principų — *Bayes* statistika. 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 labai greitai siunčia signalus, 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 naudojami dviem pagrindiniais atvejais: a) prognozuojant judesių atlikimą (iš anksto, be grįžtamojo ryšio-informacijos apskaičiuojamas judesio atlikimas); b) tikslinant judesių atitikimą (grįžtamuju ryšiu). Dinaminių sistemų požiūriu, galvos smegenys negali spėti apskaičiuoti, pavyzdžiui, visų galimų judesių trajektorijų, nes tai ne tik neįmanoma, bet ir neekonomiška. Todėl manoma, jei ir vyksta skaičiavimas, tai daugeliu atvejų spontaniškai, t. y. darant daug klaidų. Šiandien kol kas ginčą laimi statistinė paradigma.

Pats sunkiausias klausimas motorinei sistemai — tai judesio atlikimo būdo pasirinkimas, nes priklausomai nuo kiekvieno išorinio ar vidinio stimulo gali keistis ir judesio atlikimo būdas. Kaip bebūtų keista, daugeliu atvejų judesio atlikimo būdas yra pasirenkamas spontaniškai. Problema: kodėl spontaniškas pasirinkimas dažnai yra toks sėkmingas?

Judesių valdymo kompleksškumas (sudėtingumas) skiriasi nuo judesių kompleksškumo:

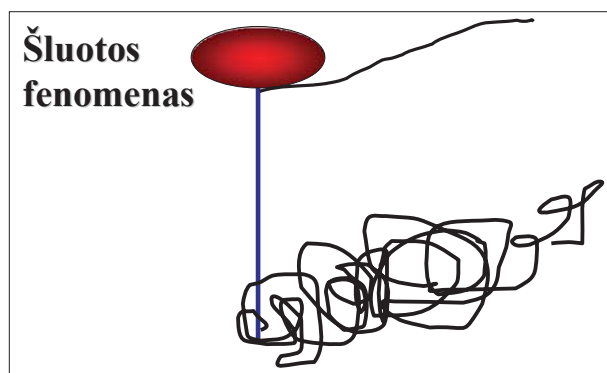
judesys gali būti nesudėtingas, bet valdymas labai sudėtingas, ir priešingai — valdymas paprastas (nesudėtingas), bet judesys kompleksiškas. Dažniausiai judesių mokymosi pradžioje judesių (ir paprastų, ir kompleksišku) valdymas yra gana sudėtingas.

Dabartiniu metu tiriant judesių valdymo neurofiziologinius ir biomechaninius mechanizmus, dar nėra galutinai aiškūs tikslūs judesių valdymo mechanizmas, nėra ir vienos vyraujančios judesio valdymo teorijos. Taigi šio straipsnio tikslas — kritiškai apžvelgti pagrindines judesio valdymo teorijas.

## PAGRINDINĖS JUDESIŲ SAVYBĖS

**Dinamiškumas.** Kiekvieną kartą per kambarį nešant ant delno pastatytą šluotą, sėkmingai pasiekiamame tikslą, t. y. išlaikome šluotos pusiausvyrą, nors ranka juda, atrodo, chaotiškai (1 pav.). Įdomu tai, kad kaskart rankos judėjimo trajektorija bus kitokia. Nėra pasaulyje žmogaus, kuris galėtų nešti ant delno pastatytą šluotą tokia pat rankos judėjimo linija. Taip pat nėra dviejų žmonių, gebančių visiškai vienodai atlikti tą patį judesį. Tai ir yra taip vadinamas „Šluotos fenomenas“, kuris gana tiksliai apibūdina judesių dinamiškumą. Tas pats tikslas kiekvieną kartą yra pasiekiamas esant skirtingoms kinematinėms (trajektorija, greičiu) ir dinaminėms (jėga) ypatybėms. Judesių dinamiškumas — tai neišvengiama ir būtina judesių atlikimo savybė (Bernstein, 1967; Kelso, 1999; Zatsiorsky, 2002; van Beers et al., 2004; Davids et al., 2006; Latash et al., 2007; Schoner, Scholz, 2007).

Jei judesiai nebūtų atliekami dinamiškai (kinetamai), jie netektų dviejų labai svarbių judesiui savybių: stabilumo ir adaptyvumo (Bernstein, 1967; Kelso, 1999; Burdet et al., 2006; Davids et al., 2006; Latash et al., 2007). Visgi dinamiškumas turi būti optimalus, t. y. nei per didelis, nei per mažas: jei dinamiškumas yra per didelis, tada nukentčia judesio atlikimo tikslumas (pvz., jei reikėtų



1 pav. Šluotos fenomenas

pataikyti šaudant į taikinį, kai važiuojame mašina dideliu greičiu per duobėtą kelią, o ir taikiny (pvz., kiškis) bėga netiesiai — pataikymo tikimybė nedidelė; mažai dinamiškas judesys labai stabilus, bet jį atliekant apribojama kūrybos laisvė (pvz., jei futbolo vartai būtų apie 50 metrų pločio, tai sumažėtų žaidimo dinamiškumas ir padidėtų pataikymo stabilumas).

*Idomu, kad judesio atlikimo kinematinės ir dinaminės klaidos yra didesnės nei galutinio tikslo pasiekimo.*

Judesių atskirų dalių dinamiškumas nėra vienodas. Pavyzdžiui, kuo arčiau taikinio (tiksl) juda ranka, tuo mažesnis jos trajektorijos kintamumas. Taigi norint iš skirtingų rankos padėčių pirštu pataikyti į nosį, piršto judėjimo trajektorija yra kur kas stabilesnė (mažiau dinamiška) nei riešo, alkūnės, peties sąnarių amplitudės ir greičio.

Dinamikos dėsnis — pagrindinis gyvų sistemų dėsnis. Jis rodo, kad motorinės sistemos būseną nuolat kinta laike ir niekad negrįžta į tiksliai tą pačią būseną. Kitaip tariant, dinamikos dėsnis — tai „laiko strėlės“ dėsnis, t. y. dėsnis, rodantis, kad gyvų sistemų elgsena yra nukreipta į ateitį. Filosofškai teigiant, pagal dabartį negalima tiksliai prognozuoti ateities, kaip ir pagal dabartį negalima tiksliai suprasti praeities.

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 judesių valdymo ir mokymo mokslininkams. Todėl dinamiškų (nuolat kintančių) judesių valdymas yra viena iš didžiausių judesių valdymo ir mokymo problemų. Pagrindinis problemos sprendimo būdas — mažinti valdymo sudėtingumą (jį supaprastinti) (Scott, 2005); Latash et al., 2007).

*Kokia yra motorinės sistemos kintamumo prasmė? Keliama hipotezė, kad dėl motorinės sistemos kintamumo raumenims tenka mažesnis krūvis.*

Judesiai mažiau kinta judesį atliekant dviem pirštais, o ne vienu (Latash et al., 2007), todėl teigiama, kad kuo daugiau būtinų motorinės sistemos (ir ne tik jos) dalių dalyvauja atliekant judesį, tuo judesys stabilesnis (t. y. nepaisant įvairių trukdžių, judesys atliekamas patikimiau). Visgi sunku išsiaiškinti, kokios motorinės sistemos dalys yra būtinos konkrečiam judesiui atlikti. Pavyzdžiui, centrinė nervų sistema, valdydama judesius, vadovaujasi nereikalingų judesių mobilizavimo principu — tai reiškia, kad centrinė nervų sistema ieško

optimalaus sprendimo judesiui atlikti (Todorov, 2004).

Motorinė sistema turi labai daug galimybių atlikti tą patį judesį (pvz., parašyti raidę A — tai galima padaryti judesį atliekant riešu, alkūne, visa ranka, kaire ar dešine ranka, koja, dantimis ir pan.). Tada kalbama apie motorinės sistemos elgsenos įvairovę (angl. *redundancy*). Pavyzdžiui, vien per riešo sąnarį judesį galima atlikti daugeliu būdų. Kam reikalingas toks begalinis motorinės sistemos dinamiškumas? Manoma, kad dinamiškumas — tai judesių stabilumo garantas. Dabartiniu metu kinta požiūris: dinamiškumas nėra (kaip seniau buvo teigiama) centrinės nervų sistemos problema — jis greičiau rodo, kad centrinė nervų sistema turi labai daug galimybių rinktis.

*Ar žinote, kad jeigu judesys būtų atliekamas visiškai taip pat, jis nebūtų stabilus. Nes optimalus judesių dinamiškumas (kintamumas) yra judesio stabilumo garantas. Judesio kintamumas yra begalinis, nes kiekvieną kartą judesys atliekamas šiek tiek pasikeitusioje aplinkoje, ir motorinė sistema kaskart yra šiek tiek kitokia, nepaisant to, kad akimi tai sunkiai pastebima. Kiekvienas žmogus judesius atlieka tik jam būdingu dinamiškumu (kintamumu), tačiau mokslininkams iškyla pakankamai sunki užduotis — kaip jį nustatyti?*

**Spontaniškumas.** Motorinė programa kiekvieną kartą susiformuoja spontaniškai, t. y. savaime (Turvey, 1990; Kelso, 1999; Davids et al., 2006). Todėl ir judesio kinematinės ir dinaminės ypatybės gali spontaniškai kisti. Judesių spontaniškumas skiriasi nuo judesių dinamiškumo tik tuo, kad jis daugiau rodo neprognozuojamą (savaiminį) judesių atlikimo ypatumų pokytį, o dinamiškumas — judesių kintamumą. Mokslininkai teigia, kad keičiantis judesių atlikimo greičiui (jėgai, amplitudei ir pan.) spontaniškai gali pasikeisti ir judesių atlikimo kokybė (Haken, 1996; Kelso, 1999; Davids et al., 2006). Tai įvyksta kritiniu laikotarpiu (pereinamuoju). Kritiniu laikotarpiu centrinė nervų sistema gali priimti spontaniškai 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.

Viena iš įdomiausių sudėtingų sistemų, kurioms priklauso motorinė sistema, savybių — gebėjimas rinktis optimalią (gal nebūtinai?) elgsenos strategiją iš daugelio alternatyvų. Nebūtinai optimaliausia — tai reiškia, kad tam tikroje situacijoje net „smulkmena“ gali leisti sistemai elgtis pagal

tokią strategiją, kuri labai tolima optimaliai. Sudėtingos sistemos vystymąsi rodo ne kai kurių jos savybių patobulėjimas, bet tų savybių reiškimosi tikimybės padidėjimas. Be to, labai įdomu, kad įvykių tikimybės pasiskirstymo forma yra kintanti. Kitaip tariant, įvykių tikimybė nėra pastovus dydis — jis nuolatosis kinta.

**Stabilumas.** *Judesių stabilumas priklauso nuo optimalaus judesių kintamumo. Jei žmogus išsitreneriuotų atlikti judesį kiek galima stabiliau (t. y. jei kinematinės ir dinaminės judesių ypatybės būtų stabilios arba mažiau kintančios), tada sumažėtų tikslų ir greitų judesių atlikimo patikimumas.*

Nors judesys kiekvieną kartą yra atliekamas vis kitaip, daugeliu atvejų judėjimo tikslas yra pasiekiamas (Bernstein, 1967; Miall, 2002; Zatsiorsky, 2002; Latash et al., 2007). Tai ir vadinama judesių atlikimo stabilumu. 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 judesys atliekamas yra kintantis (pvz., žmonės geba vairuoti dviratį važiuodami niekada nematyti keliu ir pan.; jie geba rašyti ne tik dešine, bet ir kaire ranka, koja). Kiekvienas žmogus, kaip ir kiekvienas judesys, turi tam tikrą specifinę stabilumo pasireiškimo tikimybę (pvz., jei ėjimas lygiu paviršiumi daugeliui žmonių yra gana stabilus judesys, tai ėjimas plonu lynu yra įmanomas tik nedaugeliui).

*Motorinės sistemos stabilumas — gebėjimas pasiekti tikslą po išorinio sutrukdyto (Burdet et al., 2006).*

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 procentų). 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) (Burdet et al., 2006). Pagal pirmą sampratą tai gali būti vadinama vidiniu motorinės sistemos stabilumu (gebėjimu nepaisyti vidinių trukdžių), pagal antrą — išoriniu stabilumu (gebėjimu nepaisyti išorės trukdžių).

*Įdomu žinoti tai, kad judesių atlikimas nėra ir negali būti absoliučiai stabilus — jį kaip ir visas kitas gyvas sudėtingas sistemas ištinka katastrofos, t. y. neprognuojamos ir spontaniškos klaidos,*

*kurias gali sukelti kiekviena smulkmena (Kelso, 1999).*

Žmogus geba pasiekti tikslą pakankamai stabiliai, tačiau kaskart vis kitaip. Neįmanoma kiekvieną kartą žengti tokio paties ilgio žingsnį (jei žmogus gebėtų vaikščioti vienodu žingsniu, tai jis greitai nugriūtų, nes toks ėjimas nėra stabilus). Todėl kalbama apie tam tikro ilgio žingsnio diapazoną, kuriuo žmogus vaikšto stabiliai. Tas diapazonas gali nuolatosis svyruoti priklausomai nuo judėjimo greičio, aplinkos trukdžių, motorinės sistemos būsenos (pvz., nuo nuovargio ar treniruotumo). Todėl šnekama apie dinamišką (ar sudėtingą), o ne fiksuotą stabilumą.

**Adaptyvumas ar gebėjimas mokytis.** *Negrižtamumas — tvarkos ir pažangos šaltinis. Nieko negalėtumėme išmokyti, jei neveiktų negrižtamumo principas.*

Viena iš svarbiausių motorinės sistemos savybių yra adaptyvumas arba gebėjimas mokytis. Supaprastintai kalbant, motorinė sistema atsimesi prieš tai buvusius judesius, ypač originalius, netikėtus, didelį įspūdį palikusius. Motorinė atmintis nebūtinai yra valingas procesas, ji pasireiškia mums to nejaučiant. Taigi motorinė sistema, atlikdama judesius, nuolatosis mokosi, kaip geriau juos atlikti.

## JUDESIŲ VALDYMO TEORIJOS

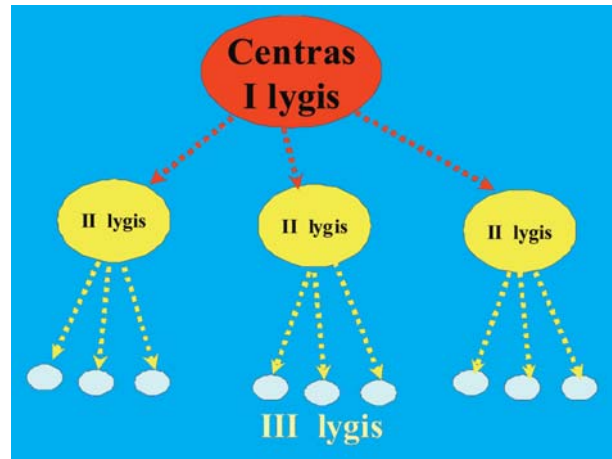
Valdyti judesius — tai reiškia apriboti atskirų raumenų ar sąnarių veikimo laisvę ir / ar koordinuoti jų veiklą.

*Geros judesių valdymo teorijos (jei tokia gali būti iš principo) pagrindiniai bruožai turėtų būti tokie: a) ji turėtų aprėpti kuo daugiau judesius; b) kuo tiksliau prognozuoti judesių atlikimo veiksmingumą įvairiomis situacijomis.*

Tradicinis judesių valdymo mechanizmų supratimas yra fiziologinis, o šiuolaikinis — psichofiziologinis. Fiziologinė judesių valdymo teorija nagrinėja judesius mechaniškai, t. y. teigia, kad judesio atlikimo veiksmingumas priklauso nuo žmogaus fiziologinių ir mechaninių ypatybių. Psichofiziologinis judesių valdymas labiau siejamas su žmogaus psichologija — judesio atlikimo veiksmingumas priklauso ir nuo psichologinių (būtent nuo žmogaus nuotaikos, interesų, tikslų, judesių atlikimo prasmės ir tikslo supratimo) veiksmų.

Labai grubiai visas judesio valdymo teorijas galima skirstyti į dvi stambias klases: a) teorijas, kurios judesio pradžią kildina iš organizmo vidaus (refleksinę, hierarchinę, motorinės programos,

2 pav. Hierarchinio valdymo pavyzdys



tikslingąją, informacinę, sistemų, schemas); b) teorijas, kurios judesio planavimo pradžią aiškina organizmo ir aplinkos sąveika (dinaminę ir ekologinę).

**Refleksinė teorija.** Dar šio amžiaus pradžioje susiformavo refleksinė judesių valdymo teorija. Jos pradininkas įžymus fiziologas C. Sherington, kuris 1960 m. parašė knygą „Integrative Action of the Nervous System“ („Nervų sistemos integracinė veikla“). Ši knyga tapo judesių valdymo ir mokyimo teoriniu pagrindu. Refleksinė judesių valdymo teorija grindžiama tuo, kad judesių atlikimo veiksmingumą lemia daugelis tarpusavyje susijusių refleksų, kurie dažnai yra nukreipti vienam ar kitam judesiui atlikti. Refleksinė judesių valdymo teorija taip pat yra siejama su kitu tų laikų įžymiu fiziologu I. Pavlovu, kuris tyrinėjo sąlyginius ir besąlyginius refleksus. Šių dviejų mokslininkų idėjos nėra pamirštos ir šiandien, tačiau dabar yra daug lankstesnių judesių valdymo teorijų.

*Refleksinės judesių valdymo teorijos trūkumai:*

1. Refleksas negali būti esminis judesių valdymo elementas.
2. Refleksinė teorija negali paaiškinti, kodėl žmonės ir gyvūnai dažnai geba atlikti judesius be judesių jausmo ir kodėl jie geba prognozuoti būsimus judesius.
3. Refleksinė teorija nepaaiškina, kodėl žmonės geba labai greitai ir tiksliai atlikti judesius, nes tada refleksai nebepėja valdyti judesių.
4. Ji negali paaiškinti, kodėl tas pats stimulus gali sukelti daugybę skirtingų atsakų (pvz., priklausomai nuo rankos padėties, vaikas skirtingai ją atitrauks nuo karšto daikto).
5. Refleksinė judesių valdymo teorija negali paaiškinti to fakto, kad vaikas, išmokęs rašyti dešine ranka, tai geba daryti ir kaire. Arba kodėl žmogus geba atlikti daugybę judesių, kurių niekada nėra daręs.

**Hierarchinė judesių valdymo teorija.** Šios teorijos esmė ta, kad judesių valdymo mechanizmai yra sudėlioti pagal hierarchiją (Brooks, 1986; Enoka, 2002). Kuo aukštesnis judesių valdymo lygis, tuo jis turi didesnių galių priimti strateginius judesių atlikimo tikslus (2 pav.). Nuo žemesnio hierarchinio lygio mechanizmų priklauso paprastesnių judesių valdymas (pvz., ėjimas ar bėgimas), nuo aukštesnio — sudėtingos koordinacijos judesių valdymas. Manoma, kad vien galvos smegenyse galima išskirti 3 judesių valdymo lygius. Nuo aukščiausio lygio priklauso judesio atlikimo strategija, nuo vidurinio — taktika, nuo žemiausio — strategijos ir taktikos vykdymas. Žmogaus augimo ir brendimo metu anksčiausiai susiformuoja žemesnio, vėliau aukštesnio lygio mechanizmai. Be to, aukštesnio lygio mechanizmai labiau negu žemesnio priklauso nuo žmogaus motyvavimo, emocijų ar atliekamo judesio supratimo. Tas pats judesys gali būti atliekamas jį valdant skirtingo lygio mechanizmais. Tai priklauso nuo atliekamo judesio tikslo. Pavyzdžiui, pakelti ranką į viršų galima visiškai skirtingu tikslu, būtent: pakėlus į viršų ranką pasiekti kabantį daiktą ar nusiimti nuo lentynos kepurę.

*Pagrindinis hierarchinės teorijos trūkumas* tas, kad ji negali paaiškinti, kaip atliekant tam tikrą judesį dominuoja tam tikro lygio nerviniai mechanizmai, nes šiandien mokslininkai mano, kad nėra griežtos judesių valdymo mechanizmų hierarchijos.

**Motorinės programos teorija.** Šios judesių valdymo teorijos esmę sudaro tai, kad atliekamo judesio sėkmė priklauso nuo centrinės nervų motorinės programos (Schmidt, Lee, 1999). Manoma, kad jei yra tiksliai suformuota motorinė programa, tai judesys gali būti atliekamas gana tiksliai ir be grįžtamosios informacijos, t. y. priešingai nei teigia refleksinė ir hierarchinė judesių valdymo teorijos.

*Judesių valdymo motorinės programos teorijos trūkumai:*

1. Neatsižvelgiama į informaciją, gaunamą iš periferijos.
2. Negali paaiškinti, kodėl žmogus geba tiksliai atlikti judesius, kai raumens būsenos skirtingos (pvz., nuvargus). Jeigu judesius valdytų vien tik centrinė nervų programa, tai žmogus beveik negebėtų atlikti judesių tada, kai yra pasilpę raumenys.

**Tikslingoji judesių valdymo teorija.** Per pastaruosius 50 metų mokslininkai daug naujo sužinojo apie nervinį judesių valdymą. Žinių daug įgyta, tačiau šiandien dar nėra aiškaus judesių valdymo mechanizmo supratimo. Manoma, kad vienas iš pagrindinių centrinės nervų sistemos veiklos principų — tikslinga veikla (Latash et al., 2007). Kitaip tariant, atliekamo judesio aiškaus tikslo turėjimas sujungia nervinius mechanizmus į vieną tam tikslui pasiekti. Ši teorija, nors ir gana nauja, tačiau plačiai taikoma tarp kineziterapeutų. Su šios teorijos principais susipažinęs kineziterapeutas žino, kad norint kaip galima greičiau atgauti ligonio judesius būtina jį išmokyti aiškiai suformuoti atliekamo judesio tikslą. Arba, kitaip tariant, ligonio judesio atlikimo veiksmingumas priklauso nuo to, kaip aiškiai jis supranta, ką ir kaip reikia daryti. Labai svarbu, kad ligonis suprastų pagrindinį tikslą ir tik vėliau jis gali būti suskaidomas į tam tikras dalis. Pavyzdžiui, jei ligoniui būtų nurodoma kiekviena judesio atlikimo detalė, tai nervų sistema negebėtų integruotis bendram tikslui pasiekti, nes nėra pagrindinio integruojančio tikslo.

*Pagrindinis šios judesių valdymo teorijos trūkumas* — neaiškumas, kaip atliekamo judesio tikslas gali integruoti nervinius mechanizmus bendrai veiklai. Be to, neaišku, koks turi būti tikslas, integruojantis nervinius mechanizmus.

**Informacinė judesių valdymo teorija.** Jos esmė tokia: judesio atlikimo veiksmingumas priklauso nuo informacijos kiekio apie būsimą ar jau atliekamą judesį. Žinoma daug informacijos perdavimo būdų, pradedant informacija, gaunama iš raumenų, sąnarių, sausgyslių, raiščių, odos ir baigiant rega ar klausa gauta informacija (Wolpert, Gramani, 2000; Todorov, 2004; Wolpert, 2007). Ši teorija nagrinėja informacijos perdavimo, supratimo ir saugojimo mechanizmus. Dabar valdymo specialistai, pasitelkę į pagalbą kompiuterius, modeliuoja įvairius nervinius ryšius, kurie gali skirtingai perduoti informaciją judesių valdymo mechanizmais. Kadangi ši teorija yra palyginti nauja, todėl ji dar mažai paplitusi tarp kineziterapeutų. Visgi ši teorija

rekomenduotų atlikti kiek galima daugiau įvairių judesių, nes tai padėtų asmeniui greičiau atsigauti. Be to, šios teorijos šalininkai turėtų suprasti, kad sutrikus vienam nerviniam ryšiui nebūtinai turi sutrikti visa nervų sistema, nes tai gali būti kompensuojama naujų ryšių sudarymu. Jei nerviniai ryšiai ir nenutrūksta, o tik pasilpsta, tai gali atsiliepti visos sistemos darbo veiksmingumui.

*Pagrindinis šios teorijos trūkumas* — sunkiai konstruojamas ir suprantamas nervinių ryšių modeliavimas.

**Sistemų teorija.** Ši judesių valdymo teorija siejasi su rusų mokslininko N. Bernšteino darbais (Bernstein, 1967). Juose N. Bernšteinas iškelia idėją, kad žmogaus judesių valdymas yra sudėtingas procesas. Šios teorijos esmė ta, kad judesių valdymo mechanizmai turi įvertinti judesio atlikimo sąlygas ir tuo remdamiesi koordinuoti raumenų veiklą taip, kad judesys būtų atliekamas kiek galima ekonomiškiau (Latash et al., 2007; Wolpert, 2007). Anot N. Bernšteino, judesio atlikimo veiksmingumas priklauso nuo nervų sistemos gebėjimo, atsižvelgiant į raumenų būseną ir žmogaus pozą, parinkti ekonomiškiausią bei veiksmingiausią motorinę programą. Pirmiausia ši judesių valdymo teorija leidžia kineziterapeutams žiūrėti į judesių valdymą kaip į sudėtingos sistemos valdymą. Taip pat ši teorija, ypač akcentuodama mechanines raumenų, sąnarių savybes, leidžia kineziterapeutams suprasti, kad norint atgauti judesius būtina įvertinti ir biomechanines atliekamo judesio savybes. Vadinasi, reikia ieškoti patogiausių padėčių, kurios leistų ligoniams atlikti judesius. Prie tų padėčių reikėtų pratinti motorinę programą. Kitas pavyzdys: jei raumuo nėra pakankamai sustiprėjęs, tai gali būti pagrindinė ligonio negalėjimo vaikščioti ar stovėti priežastis. Be to, kineziterapeutai turėtų žinoti, kad judesių veiksmingumas priklauso ne nuo vienos motorinės sistemos dalies darbo kokybės, bet nuo visos sistemos.

*Didžiausias N. Bernšteino indėlis į judesių valdymo ir mokymo mokslo sampratą buvo toks:*

- 1) *jis pirmasis aprašė judesių laisvės laipsnių problemą — kuo didesnis judesio laisvės laipsnis, tuo sunkiau valdyti tokį judesį;*
- 2) *nurodė, kad motorinės sistemos periferijos (raumenų) būseną yra nuolatos kintanti — tai dar viena centrinės nervų sistemos problema;*
- 3) *pirmasis aprašė funkcinės sinergijos svarbą judesių valdymui (sinergija — tai organizmo dalių tarpusavio ir aplinkos darni sąveika tikslui pasiekti).*

*Pagrindinis sistemų teorijos trūkumas* yra tas, kad valdant judesius neatsižvelgiama į aplinkos pokyčius, kurie neišvengiami žmogui judant.

**Schemas teorija.** Schemas teorijos esmė — galvos smegenys suformuoja generalinę (bendrąją) motorinę programą, kuri įgyvendinama pagal tam tikras įgimtas ar įgytas taisykles, principus (schemas) (Schmidt, Lee, 1999).

**Pusiausvyros taško hipotezė.** Pusiausvyros taško hipotezė (angl. *equilibrium point hypothesis*) — judesių valdymo teorija-hipotezė, pagal kurią judesių valdymo mechanizmo pagrindinė paskirtis — garantuoti raumens išugdomos jėgos ir išorinio poveikio (pvz., keliamo svorio) jėgos pusiausvyrą (Latash et al., 2007). Ši pusiausvyra yra garantuojama automatiškai (refleksais). Manoma, kad CNS, valdydama judesius, nustato reflekso jautrumą. Pagrindinis refleksas šiuo atveju yra tempimo (ypač toninis) refleksas. Todėl CNS nustato reflekso jautrumo dydžius esant tam tikram raumens ilgiui.

**Dinaminių sistemų teorija.** Ši teorija yra viena iš naujausių judesių valdymo teorijų (Zelaznik, 1996; Kelso, 1999; Davids et al., 2006). Ji papildo judesių valdymo sistemų teoriją atkreipdama dėmesį į tai, kad kintanti aplinka veikia judesių valdymą. Vienas iš pagrindinių šios teorijos principų — judesių valdymo mechanizmai yra save valdantys. Valdymo paradigma neišskiria centrinio valdytojo. Ši teorija yra kur kas lankstesnė nei anksčiau aprašytos, nes ja remiantis judesiai gali būti valdomi ir be centrinės motorinės programos. Kiekvienam konkrečiam judesiui atlikti gali būti suformuota skirtinga valdymo programa.

Pagrindinis dinamiško valdymo veiksnys — tai dinamiška judesio tikslo, motorinės sistemos būsenos ir aplinkos specifikos sąveika. Dinaminė teorija leidžia paaiškinti judesių kintamumo prigimtį. Būtent judesiai kinta dėl nuolatinės trijų pagrindinių „žaidėjų“ kaitos — judesio tikslo (užduoties), motorinės sistemos būsenos ir aplinkos. Visgi judesių kintamumas, anot dinaminės judesių valdymo teorijos, nėra trūkumas, priešingai — tai daugeliu atvejų privalumas (Latash et al., 2007). Nepaisant judesių kintamumo svarbos, dinaminė teorija didelį dėmesį skiria judesių stabilumui, kuris suprantamas ne kaip statinis (fiksiuotas), bet kaip dinaminis stabilumas. Dinaminio stabilumo pagrindas yra atraktorius (angl. *attractor*) arba siekiama motorinės sistemos būseną. Kuo ši prognozuojama būseną yra labiau siekiama (realiai siekiama), tuo yra stipresnis atraktorius. Vadinasi, motorinė sistema turi didesnę tikimybę transfor-

muotis į šią būseną (judesys pasieks tikslą). Du pagrindiniai parametrai — tvarkos ir valdymo — veikia judesio atlikimą (valdymą). Tvarkos (arba kolektyvinis) — nustato motorinės sistemos atskirų dalių tarpusavio sąveikos bei jų ir aplinkos sąveikos būdus (principus, taisykles), valdymo — valdo tvarkos parametras (pvz., judėjimo kryptį, tempą, greitį, amplitudę ir pan.) (Kelso, 1999). Pagal dinaminių sistemų judesių valdymo modelį judesiui atlikti nereikia struktūrizuotos programos ir labai tikslaus jos įgyvenimo mechanizmo. Judesių valdymas pagal dinaminį modelį priklauso nuo dinamiškos judesio užduoties, motorinės sistemos būsenos ir aplinkos sąveikos. Pavyzdžiui, pagal tą pačią užduotį (arba motorinę programą) galima ir pataikyti, ir nepataikyti spirti į kamuolį.

*Anot dinaminių sistemų teorijos, judesių kinematinės ir dinaminės ypatybės (greitis, amplitudė, jėga) greičiau kinta nei visas judesio stilius, braižas (tvarkos parametras). Pavyzdžiui, parašo braižas (stilius) išlieka unikalus net ir pasirašant koja.*

*Pagrindinis šios teorijos trūkumas* — ne jos veikimo būdai, bet jos supratimas, nes suprasti šią teoriją gana sunku.

**Ekologinė judesių valdymo teorija.** Ši judesių valdymo teorija yra viena iš jauniausių, nors pirmas šios teorijos idėjas dar 1960 metais skelbė žymus psichologas J. Gibson (1979). Ši teorija siejasi su dauguma anksčiau minėtų teorijų, tačiau atkreipia dėmesį į aplinkos poveikį judesių valdymo veiksmingumui (Davis, Broadhead, 2007). J. Gibson manė, kad žmogaus regėjimo sistema leidžia iš karto pagauti pačią svarbiausią informaciją, reikalingą judesiui atlikti. Dar vienas išskirtinis ekologinės teorijos bruožų yra tas, kad pradėti judesį dažnai nurodo aplinka, o ne žmogaus organizmo vidus. Manoma, kad iš visų informacijos šaltinių apie atliekamą ar būsimą judesį pats svarbiausias yra žmogaus padėtis erdvėje. Be to, teigiama, kad žmogus iš prigimties centrinėje nervų sistemoje turi aplinkos „žemėlapi“, kuriuo vadovaujasi atlikdamas įvairius judesius.

*Pagrindinis šios teorijos trūkumas:* ja negalima paaiškinti visų ir mažiau nuo aplinkos pokyčių priklausančių judesių valdymo.

**Judesių valdymas vidiniais modeliais ir optimaliu valdymu suteikiant grįžtamąją informaciją.** Pagrindiniai šios teorijos parametrai yra šie: 1) motorinės sistemos pradinės būsenos nustatymas; 2) judėjimo tikslo (taikinio) nustatymas; 3) patirties apie anksčiau buvusius panašius judesius įvertinimas (atlikimo erdvės pločio nu-

statymas); 4) idealios trajektorijos modeliavimas (tai atlieka atvirkščias vidinis modelis); 5) judesio programos, kuri atitiktų esamą situaciją, atlikimo erdvę ir idealią trajektoriją, sudarymas (taikant Bayes taisyklę); 6) realios judesio trajektorijos koregavimas, kurį atlieka optimalaus valdymo su grįžtamąja informacija modelis (Todorov, 2004; Wolpert, 2007). Judesys koreguojamas tik tada, kai judesio atlikimo reali trajektorija išeina iš judesio atlikimo erdvės.

Ši judesių mokymosi teorija yra pagrįsta *Bayes* skaičiavimo taisykle, teigiančia, kad atsižvelgiant į motorinės sistemos esamą būseną, aplinkos situaciją, atliekamo judesio užduotį ir prieš tai buvusio (ar buvusių) judesio atlikimo rezultatus yra apskaičiuojamas optimalus būdas (iš daugelio kitų) — reali judesio trajektorija judesiui atlikti (Wolpert, 2007). Viena iš dižiausių *Bayes* skaičiavimo problemų — kaip iš daugelio atrinkti tinkamiausią būdą judesiui atlikti. Gana sunku nustatyti, kas yra optimalu (kokie optimalumo kriterijai). Vienas iš svarbiausių kriterijų — pasiekti tikslą kuo mažiau sunaudojant energijos.

Judesių mokymas pagal *Bayes* taisyklę — tai procesas, kurio metu apskaičiuojama judesio atlikimo būdo tikimybė. Vienas iš svarbiausių etapų — išankstinis spėjimas apie, tarkim, judesio trajektoriją. Šis spėjimas yra tikimybinis ir remiasi ankstesne patirtimi — kuo didesnė patirtis, tuo tikslesnis spėjimas (hipotezė). Prieš pradėdant atlikti judesį, galvos smegenys gauna papildomos informacijos (duomenų) apie kūną ir aplinką (pvz., koku greičiu lekia kamuolys). Tada galvos smegenys nustato tos informacijos reikšmės tikimybę spėjimo (hipotezės) atžvilgiu. Pagaliau galvos smegenų motorinė žievė priima sprendimą, įvertindama kokia tikimybė spėjimas (hipotezė) atitinka duomenis (informaciją). Šiuo etapu dar būtina įvertinti informacijos patikimumą.

**Nevaldomos įvairovės hipotezė.** Nevaldomos įvairovės hipotezė (angl. *uncontrolled manifold*

*hypothesis*) yra viena iš naujausių judesių valdymo teorijų (Scholz, Schoner, 1999; Zatsiorsky, 2002; Latash et al., 2007). Jos pagrindiniai akcentai yra šie: judesių valdymas yra pagrįstas sinerginiu mechanizmu ir sistemos susiregulavimo principu. Sinerginio mechanizmo trys pagrindiniai komponentai: a) lankstumas; b) klaidų automatiškas ištaisymas — jei sistemos tam tikra dalis padarė klaidą, tai ją automatiškai ištaiso kita dalis; c) veiklos paskirstymas tarp sistemos dalių — visos sistemos dalys dalyvauja atliekant judesį (nereikalingų dalių nėra) (Latash et al., 2007). Anot nevaldomos įvairovės hipotezės, judesių kintamumas yra būtinas norint stabiliai atlikti judesį. Visgi kintamumas būna ir „geras“, ir „blogas“. „Geras“ kintamumas didėja tada, kai mokomės atlikti judesius, o „blogas“ — mažėja. Galvos smegenims daugiausia naudos duoda „geras“ kintamumas, nes jo nereikia valdyti (kontroliuoti). Pavyzdžiui, dviem pirštais norime išugdyti 10 N jėgą: jei vienas pirštas išugdo 4 N, tai kitas — apie 6 N. Svarbu, kad suma išliktų apie 10 N. Tada nereikia valdyti atskirai kiekvieno piršto jėgos, užtenka valdyti tik pirštų išugdomos jėgos sumą. Kuo mažiau centrinei nervų sistemai reikia valdyti, tuo tobulesnis yra valdymo mechanizmas.

## IŠVADOS

Dabartiniu metu vyrauja šios judesių valdymo teorijos: dinaminių sistemų, ekologinė, nevaldomos įvairovės hipotezė ir vidinių modelių. Jas jungia bendras judesių valdymo principas, t. y. galvos smegenys sukuria ir įgyvendina motorinę programą (manoma, kad galvos smegenys geba „apskaičiuoti“ optimalius judesių valdymo mechanizmus), atsižvelgiant į organizmo, aplinkos ir judesio tikslo dinamišką sąveiką. Deja, mokslininkams dar reikia daug padirbėti norint išsiaiškinti judesių planavimo ir įgyvendinimo („skaičiavimo“) neurofiziologinius mechanizmus.

## LITERATŪRA

- van Beers, R. J., Haggard, P., Wolpert, D. M. (2004). The role of execution noise in movement variability. *Journal of Neurophysiology*, 91 (2), 1050—1063.
- Bernstein, N. (1967). *The Co-ordination And Regulation Of Movements*. London: Pergamon Press.
- Brooks, V. B. (1986). *The Neural Basis of Motor Control*. Oxford: Oxford University Press.
- Burdet, E., Tee, K. P., Mareels, I. et al. (2006). Stability and motor adaptation in human arm movements. *Bioorganic Cybernetics*, 94 (1), 20—32.
- Davids, K., Bennet, S., Newell, K. (2006). *Movement Systems Variability*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Davis, W. E., Broadhead, G. G. (2007). *Ecological Task Analysis and Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Enoka, R. (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston, MA: Houghton-Mifflin.
- Haken, H. (1996). *Principles in Brain Functioning. A Synergetic Approach to Brain Activity*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.



- Hastie, R., Dawes, R. M. (2001). *Rational Choice in an Uncertain World: The Psychology of Judgment and Decision Making*. Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- Kelso, J. A. S. (1999). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Kording, K. P., Tenenbaum, J. B., Shadmehr, R. (2007). The dynamics of memory as a consequence of optimal adaptation to a changing body. *Nature Neuroscience*, 10, 779—786.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., Schoner, G. (2007). Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control*, 11, 276—308.
- Miall, R. C. (2002). Motor control, biological and theoretical. In M. A. Arbib (Ed.), *Handbook of Brain Theory and Neural Network*, 2nd ed. (pp. 686—689). Cambridge MA: Bradford Books, MIT Press.
- Schmidt, R. A., Lee, T. D. (1999). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Scholz, J. P., Schoner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289—306.
- Schoner, G., Scholz, J. P. (2007). Analyzing variance in multi-degree-of-freedom movements: Uncovering structure versus extracting correlations. *Motor Control*, 11, 259—275.
- Scott, S. H. (2005). Conceptual frameworks for interpreting motor cortical function: New insights from a planar multiple-joint paradigm *In motor cortex in voluntary movements*. A. Riehle, E. Vaadia (Eds.) (pp. 157—180). London: CRC Press.
- Shadmehr, R., Wise, S. P. (2005). *Computational Neurobiology of Reaching and Pointing: A Foundation for Motor Learning*. Cambridge MA: MIT Press.
- Todorov, E. (2004). Optimality principles in sensorimotor control. *Nature Neuroscience*, 7 (9), 907—915. Review.
- Turvey, M. T. (1990). Coordination. *American Psychology*, 45, 938—953.
- Wolpert, D. M., Grahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature*, 3, 1212—1217.
- Wolpert, D. M. (2007). Probabilistic models in human sensorimotor control. *Human Movement Science*, 26 (4), 511—524.
- Zatsiorsky, V. M. (2002). *Kinetics of Human Motion*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Zelaznik, H. N. (1996). *Advances in Motor Learning and Control*. Champaign, IL: Human Kinetics.

## CONTEMPORARY THEORIES OF MOTOR CONTROL

Albertas Skurvydas

*Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania*

### ABSTRACT

Nowadays two main paradigms (theories) compete in motor control and motor learning research: computational approach and dynamical system approach. From the standpoint of computational approach the main mechanism of motor control and learning is the ability of the brain to “compute” (biological computer). The human brain computes applying many approaches and laws. One of the most popular approaches is Bayes statistics. According to the paradigm of dynamical systems the mechanism of motor control develops in time. That is to say, every moment of time it can be different. It depends on the state of the human body, specificity of the environment and personal aims. Referring to computational logic, for example, the human brain computes (estimates) the state of the motor system, the trajectory of the upcoming movement, the force developed by the muscles, the range, etc. The main computational approach is simplifying the complexity; that is to say, during motor control the human brain “straightens” many phenomena in the mind which are nonlinear in the periphery (in the movement itself).

Computations are used in two main cases: a) for the performance of predicted movements (motor performance is estimated beforehand, without feedback) and b) computation with constant revision (feedback). According to the dynamical system approach the human brain cannot compute e. g. all the possible trajectories of movements in time because it is not only impossible but also uneconomical. Thus, in many cases computing is spontaneous and with “broken figures”, i. e. with many mistakes.

The article deals with the main motor abilities (dynamism, spontaneity, stability, adaptivity) and contemporary theories of motor control (reflexive, hierarchical, motor program, expedient, informational, system, scheme, balance point, dynamic systems, ecological, inner patterns and uncontrolled diversity). Much attention is paid to the possibilities of the application of those theories in sport and rehabilitation.

**Keywords:** motor abilities, motor control, theories.

Gauta 2009 m. kovo 31 d.  
Received on March 31, 2009

Priimta 2009 m. gegužės 26 d.  
Accepted on May 26, 2009

Albertas Skurvydas  
Lietuvos kūno kultūros akademija  
(Lithuanian Academy of Physical Education)  
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas  
Lietuva (Lithuania)  
Tel +370 686 14700  
E-mail a.skurvydas@lkka.lt