

# Varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja u dojenačkoj dobi

---

**Bašić, Bruna**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Education and Rehabilitation Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:158:323597>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-11**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Education and Rehabilitation Sciences - Digital Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Edukacijsko-rehabilitaciji fakultet

Diplomski rad  
Varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja u  
dojenačkoj dobi

Bruna Bašić

Zagreb, rujan 2023.

Sveučilište u Zagrebu  
Edukacijsko-rehabilitaciji fakultet

## Diplomski rad

Varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja u  
dojenačkoj dobi

Studentica: Bruna Bašić

Mentorica: Doc.dr.sc. Ana Katušić

Zagreb, rujan 2023.

## Izjava o autorstvu rada

Potvrđujem da sam osobno napisala rad **Varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja u dojenačkoj dobi** i da sam njegova autorica.

Svi dijelovi rada, nalazi ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima jasno su označeni kao takvi te su adekvatno navedeni u popisu literature.

Bruna Bašić

Zagreb, rujan 2023.

## **Zahvale**

*Prije svega, iskreno se zahvaljujem mentorici doc.dr.sc. Ani Katušić na nesebičnom dijeljenju znanja, razumijevanju, stručnom usmjeravanju i podršci tokom pisanja ovog rada i cjelokupnog studija. Iznimna mi je čast što je takva vrsna stručnjakinja dio mog profesionalnog puta.*

*Veliko hvala mojoj mentorici u praksi, Dori Marinić, mag.rehab.educ., koja je u meni prepoznala potencijal i ukazala mi neizmjereno povjerenje.*

*Hvala mojim divnim prijateljicama koje su bojale moje dane smijehom i vedrinom i bile uz mene kada mi je to bilo najpotrebnije. Uz vas je sve lakše.*

*Ne postoje riječi kojima bih izrazila dovoljnu zahvalnost svojoj obitelji.*

*Najveće hvala na bezuvjetnoj ljubavi, ohrabrivanju i svim odricanjima. Hvala što ste uvijek bili moj "vjetar u leđa" - sve što jesam i vjerujem da mogu postati, dugujem vama.*

*Konačno, posebno hvala mom T.*

*Ni silni kilometri nisu te spriječili da budeš moj najglasniji navijač. Hvala što si uvijek bio neiscrpan izvor ljubavi, podrške i motivacije i vjerovao u mene onda kada ni sama nisam.*

## **Posveta**

*Svim "palčicama" i njihovim obiteljima.*

Naslov rada: **Varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja u dojenačkoj dobi**

Ime i prezime studentice: Bruna Bašić

Ime i prezime mentorice: Doc. dr. sc. Ana Katušić

Program/modul na kojem se polaže diplomski ispit: Edukacijska rehabilitacija, modul Rehabilitacija, sofrologija, kreativne terapije i art/ekspresivne terapije

## **Sažetak**

Razvoj ljudskog mozga je vrlo složen proces kojega karakterizira mnoštvo razvojnih promjena u ponašanju. Razvojne promjene specifične su tijekom prenatalnog razdoblja te u prve dvije godine života djeteta, s obzirom da se samo sazrijevanje središnjeg živčanog sustava još uvijek vrlo intenzivno odvija u tom periodu. Tipični motorički razvoj karakterizira varijacija i razvoj adaptivne varijabilnosti, dok atipični razvoj karakterizira nedostatna varijacija i adaptabilnost.

Premda postoji više razvojnih teorija, teorija selekcije neuronskih grupa predstavlja ravnotežu između dosadašnjih teorija neuromaturacionizma i teorije dinamičkih sustava, stoga nalaže kako je razvoj rezultat složenog ispreplitanja informacija iz gena i okoliša. Razvoj započinje primarnim neuronskim repertoarima, a nastavlja se selekcijom na temelju aferentnih informacija koje proizvode ponašanje i iskustvo. Sekundarni neuronski repertoari i njima pridruženi mehanizmi odabira čine osnovu zrelog varijabilnog ponašanja koje se može prilagoditi ograničenjima okoline.

Teorija selekcije neuronskih grupa koristi se kao teorijski referentni okvir za kvalitativnu procjenu motoričkog ponašanja dojenčadi pod nazivom Motorički profil dojenčeta, upravo zbog isticanja činjenice da su varijacija i adaptabilnost motoričkog ponašanja ključni elementi tipičnog razvoja. Motorički profil dojenčeta procjenjuje motoričko ponašanje dojenčadi u dobi od 3 do 18 mjeseci podijeljenih u 5 područja: varijacija, adaptabilnost, simetrija, fluentnost i izvedba. Ovaj oblik procjene pokazao se kao pouzdan i valjan instrument za procjenu neuromotoričkog statusa u dojenčadi te omogućava rano otkrivanje razvojnih motoričkih poremećaja.

Cilj rada je predstaviti spoznaje o varijaciji i adaptabilnosti motoričkog ponašanja te obuhvatiti pregled postojećih istraživanja o prediktivnoj snazi navedenih domena motoričkog ponašanja za neurorazvojni ishod. U radu će se definirati teorija selekcije neuronskih grupa, pojmovi primarne i sekundarne varijabilnosti te pobliže razraditi važnost kvalitativne domene motoričkog ponašanja u dojenačkoj dobi.

**Ključne riječi:** rani neuromotorički razvoj, teorija selekcije neuronskih grupa, varijacija, adaptabilnost, motorički profil dojenčeta, prediktivna vrijednost

Title: **Variation and adaptability of motor behaviour in infants**

Name of a student: Bruna Bašić

Name of a mentor: Ana Katušić, *PhD*

The modul where the thesis is taken: Rehabilitation, Sophrology, Creative and Art/Expressive Therapies

## **Abstract**

The development of the human brain is a very complex process characterized by a multitude of developmental changes in behaviour. Developmental changes are specific during the prenatal period and in the first two years of a child's life, given that the maturation of the central nervous system is still very intense during this period. Typical motor development is characterized by variation and the development of adaptive variability, while atypical development is characterized by limitations in variation and variability.

Although there are several developmental theories, Neuronal Group Selection Theory represents a balance between the previous Neuromaturational Theories and Dynamic Systems Theory, therefore it dictates that development is the result of a complex interweaving of information from genes and the environment. Development begins with primary selection neural repertoires, and continues based on afferent information that produces behavior and experience. Secondary neuronal repertoires and their associated selection mechanisms form the basis of mature variable behavior that can adapt to environmental constraints.

Neuronal Group Selection Theory is used as a theoretical reference framework for the qualitative assessment of motor behavior of infants under the name Infant Motor Profile, precisely because of the fact that variations and adaptability of motor behavior are key elements of typical development. Infant Motor Profile assesses the motor behavior of infants aged 3 to 18 months divided into 5 domains: variation, adaptability, symmetry, fluency, and performance. This form of assessment has proven to be a reliable and valid instrument for the assessment of neuromotor status in infants and enables the early detection of developmental motor disorders.

The aim of the paper is to present knowledge about the variation and adaptability of motor behavior and to include an overview of existing research on the predictive power of the mentioned domains of motor behavior for neurodevelopmental outcome. The paper will define the theory of neuron selection, the concepts of primary and secondary variability, and elaborate on the importance of the qualitative domain of motor behavior in infancy.

**Key words:** early neuromotor development, neuronal group selection theory, variation, adaptability, infant motor profile, predictive value

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. RANI NEUROMOTORIČKI RAZVOJ</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. KRATKI PREGLED RAZVOJA MOZGA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. MOTORIČKO PONAŠANJE DOJENČADI</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.1. SPONTANO MOTORIČKO PONAŠANJE</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.2. CILJU USMJERENO MOTORIČKO PONAŠANJE</b> .....	<b>12</b>
<b>3. RAZVOJNE TEORIJE</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1. NEUROMATURACIONISTIČKA I DINAMIČKA TEORIJA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2. TEORIJA SELEKCIJE NEURONSKIH GRUPA</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.1. PRIMJENA TEORIJE SELEKCIJE NEURONSKIH GRUPA NA MOTORIČKI RAZVOJ</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.1.1. VARIJACIJA</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.1.2. ADAPTABILNOST</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.2. PRIMJENA TEORIJE SELEKCIJE NEURONSKIH GRUPA NA NEURORAZVOJNE MOTORIČKE POREMEĆAJE</b> .....	<b>27</b>
<b>4. ZNAČAJ PROCJENE VARIJACIJE I ADAPTABILNOSTI MOTORIČKOG PONAŠANJA U RANOJ RAZVOJNOJ DOBI</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1.1. PREDIKTIVNA VRIJEDNOST</b> .....	<b>35</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>39</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>40</b>



## 1. Uvod

Razvoj ljudskog najsloženijeg organa, mozga, najbolje se može opisati kao fascinantan, dugotrajan i dinamičan proces. Premda započinje prenatalno, odvija se sve do zrele odrasle dobi i tijekom tog razvojnog perioda uzrokuje brojne promjene u ponašanju (Petanjek, Hromatko, Sedmak i Hladnik, 2021). S obzirom na to da se motorički razvoj izdvaja kao najdinamičnija neurološka funkcija u dojenačkoj dobi (Mejaški-Bošnjak, 2008) te da motorička aktivnost dojenčadi pruža izravan uvid i u kognitivni razvoj, nužno je na razvoj gledati cjelovito (Matijević i Rota Čepnja, 2023). Ipak, razvoj čovjeka još uvijek nije u potpunosti istražen, stoga do danas istraživanja u području neuromotoričkog razvoja čovjeka karakterizira rasprava o ulozima endogenih i egzogenih čimbenika razvoja. Danas se kao "zlatna sredina" izdvaja nova perspektiva, Edelmanova teorija selekcije neuronskih grupa, za koju mnogi pretpostavljaju da bi mogla okončati ovu kontinuiranu dvojbu između neuromaturacionističke teorije i teorije dinamičkih sustava (Hadders-Algra, 2000a). Teorija selekcije neuronskih grupa pruža najveće benefite za razumijevanje djetetova razvoja ukoliko se sagleda u okviru motoričkog razvoja. Kao ključni elementi ove teorije izdvajaju se varijacija i adaptabilnost. Varijacija podrazumijeva prisutnost i izraženost širokog spektra repertoara ponašanja za određenu motoričku funkciju. S druge strane, adaptabilnost se odnosi na sposobnost odabira iz repertoara motoričke strategije koja najbolje odgovara situaciji (Hadders-Algra, 2010). Na idejama već spomenute teorije i ključnim aspektima iste počiva Motorički profil dojenčeta, nova procjena neuromotoričkog razvoja namijenjena dojenčadi u dobi od trećeg do osamnaestog mjeseca života. Ovaj mjerni instrument smatra se pouzdanom procjenom motoričkog ponašanja u djetinjstvu te se razvija u skladu sa najnovijim saznanjima iz prakse. U obzir se uz tradicionalne aspekte procjene, poput motoričke izvedbe odnosno dostignutih razvojnih miljkaza, uzimaju i kvalitativne domene motoričkog ponašanja poput varijacije, adaptabilnosti, simetrije i fluentnosti. Niz istraživanja potvrđuje psihometrijske karakteristike ovog mjernog instrumenta, s naglaskom na prediktivnu vrijednost domena varijacije i adaptabilnosti (Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2008).

## 2. Rani neuromotorički razvoj

U ranom razvojnem periodu, neurološki i motorički razvoj u pravilu su neodvojivi. Upravo zato kada govorimo o razvoju djeteta u ovoj dobi, koristimo izraz neuromotorički razvoj. Neuromotorički razvoj definira se kao predvidiv, stupnjevit i kontinuirani proces. Navedeni proces je sveobuhvatan te uključuje stjecanje motoričkih, psihičkih i socijalnih vještina. Tipičan neuromotorički razvoj obuhvaća fiziološke okvire unutar kojih dijete usvaja različite motoričke, psihičke i socijalne vještine (Matijević i Rota Čepnja, 2023). Prije razvoja osnove svih drugih organa, razvija se osnova živčanog sustava čovjeka (O'Rahilly i Müller, 2006). Sam neurološki razvoj djeteta usko je vezan uz proces sazrijevanja središnjeg živčanog sustava, koji se još vrlo intenzivno odvija nakon rođenja, posebno tijekom prve godine života. Neurološke funkcije razvijaju se međusobno usklađeno i kontinuirano, počevši od najjednostavnijih do najkompleksnijih, odražavajući određenu razinu funkcionalnog sazrijevanja živčanog sustava. Vremenski tijek razvoja neuroloških funkcija obilježavaju značajne varijacije u istog djeteta, kao i među pojedinom djecom. Kao najdinamičnija funkcija neurološkog razvoja, izdvaja se razvoj motoričkih sposobnosti, posebno tijekom dojenačke dobi (Mejaški-Bošnjak, 2008). Primitivna, refleksna aktivnost koja se javlja u novorođenačkoj i ranoj dojenačkoj dobi postupno evoluirala u svrsishodne neurološke funkcije koje omogućuju primjerice antigravitacijsku stabilnost i kretanje. Ovaj postupni napredak u neurološkom razvoju omogućuje sve kompleksnije i koordiniranije pokrete tijekom rasta i razvoja djeteta (Mejaški-Bošnjak, 2008). Iako se u prošlosti smatralo kako su navedene razvojne promjene od infantilnih refleksa ka kortikalnom ponašanju rezultat evolucije (Peiper, 1963), znanost je napredovala i dovela do novih spoznaja. Odnosno, danas je jasno kako motoričko ponašanje nije prvenstveno organizirano u smislu refleksa. Osim toga, utvrđeno je kako je korteks već u fetalnom periodu uključen u modulaciju motoričkog ponašanja (Hadders-Algra, 2018a). Poznavanje tipičnog neuromotoričkog razvoja je ključno za rano otkrivanje eventualnih zaostajanja ili odstupanja od očekivanog razvoja. U novorođenačkom i dojenačkom razdoblju, motorička aktivnost djece pruža uvid ne samo u motorički razvoj, već i u kognitivni, jezični, socijalni i emocionalni razvoj (Matijević i Rota Čepnja, 2023). Upravo zbog postojanja prijelaznih oblika neuroanatomske organizacije te promjena u prokrvljenosti središnjeg živčanog sustava tijekom sazrijevanja, mjesto i nastanak oštećenja mozga u velikoj mjeri ovise o gestacijskoj zrelosti novorođenčeta (Matijević i Marunica Karšaj, 2015). Identificirani su brojni

čimbenici koji mogu uzrokovati oštećenje mozga, a uobičajena podjela odnosi se na prenatalne (prije poroda), perinatalne (tijekom poroda) i postnatalne (nakon poroda) čimbenike rizika. Djeca koja su izložena različitim čimbenicima rizika nazivaju se neurorizičnom djecom (engl. baby at risk), a noviji podaci govore kako se čak 10 do 15% novorođenčadi ubraja među neurorizičnu djecu (Matijević i Rota Čepnja, 2023). Kao najčešća neurorizična stanja navode se prematuritet, asfiksija, konvulzije te infekcije, a kao posljedica mogu uslijediti različite poteškoće poput cerebralne paralize, intelektualnih teškoća, različitih poremećaji vida, govora, sluha i mnogi drugi (Pinjatela i Joković Oreb, 2010). Neurorizičnu djecu može identificirati neonatolog u rodilištu te pedijatar u primarnoj zdravstvenoj zaštiti. Na temelju utvrđenih čimbenika rizika, potencijalno neurorizična djeca usmjeravaju ka specijalistu neuropedijatrije te nadalje i dijagnostičko-rehabilitacijskom timu na opsežnu opservaciju i dijagnostiku. Od ključne je važnosti razvrstavanje neurorizične djece na visoko i nisko neurorizične s obzirom na utvrđene kriterije: broj zastupljenih anamnestičkih čimbenika rizika (neurološki sindromi, abnormalni spontani pokreti) te nalaza intrakranijske ultrazvučne dijagnostike (Mejaški-Bošnjak, 2007). U drugoj polovici 20. stoljeća kreirani su registri neurorizične djece, s ciljem identificiranja djece s potencijalnim neurorazvojnim poremećajima. Međutim, registar za praćenje neurorizične djece, koji bi dao bolji uvid u sve potencijalne rizične čimbenike, još uvijek nije optimalno razvijen. Registar postoji u pojedinim klinikama poput Klinčkog bolničkog centra Rijeka, Specijalne bolnice za zaštitu djece s neurorazvojnim i motoričkim smetnjama Goljak te regionalnim kliničkim centrima i većim županijskim bolnicama. Ipak, javlja se problem neujednačenosti dostupnih informacija, programa i opsega samih registara (Mejaški Bošnjak, 2007). Također, u Republici Hrvatskoj još uvijek nema jedinstvenog registra neurorizične djece. Upravo zbog nedostatnog registriranja i praćenja ove djece, nerijetko izostaje organizirana stručna podrška i stimulacija (Matijević i Marunica Karšaj, 2015). Neurorizik u konačnici može rezultirati dvama različitim kliničkim ishodima. Odnosno, moguć je potpuni oporavak ili pak pojava određenog neurorazvojnog odstupanja. Osim toga, neurorazvojni ishod djeteta nakon perinatalnog oštećenja ovisan je o interakciji više čimbenika. Spomenuti čimbenici obuhvaćaju postojeće oštećenje mozga odnosno tip, opseg te lokalizaciju i vrijeme nastanka samog oštećenja, interakciju djeteta-okolina te u konačnici i kompenzacijske procese poput maturacije te neuroplastičnosti (Kostović i Judaš, 1998). S obzirom da se većina poremećaja može prevenirati, od neizmjerne je važnosti pravovremeno identificirati djecu s rizikom za razvoj neurorazvojnih poremećaja (engl. neurodevelopmental disorder, NDD). Kao

primarni ciljevi rane dijagnostike neurorizika izdvajaju se rano uključivanje u odgovarajući (re)habilitacijski postupak te sustavno praćenje i bilježenje podataka o toj djeci (Pinjatela i Joković Oreb, 2010). Rano otkrivanje neurorizika osigurava uspješniju (re)habilitaciju i funkcionalni oporavak, stoga se smatra kako programi započeti prije devetog mjeseca kronološke dobi potencijalno rezultiraju boljim napretkom od onih započetih kasnije (Pinjatela i Joković Oreb, 2010). Rana intervencija (rana razvojna podrška) obuhvaća niz multidisciplinarnih usluga namijenjenih djeci od rođenja do pete godine života. Kao primarni cilj navodi se promocija zdravlja, opća dobrobit i funkcionalnost djeteta (Blauw-Hospers i Hadders-Algra, 2005). Uz to, u ovom procesu dolazi do smanjenja već postojećih ili prevencije potencijalnih teškoća u razvoju te se unaprjeđuju nove kompetencije (Meisels i Shonkoff, 2000). Programi rane intervencije uvijek se nastoje provoditi timski. Uobičajeni tim čine liječnici različitih specijalnosti, edukacijski rehabilitator, logoped, psiholog, radni terapeut, fizioterapeut, medicinska sestra te ostali stručnjaci u kontaktu s djecom. Kao neizostavni članovi tima izdvajaju se roditelji neurorizičnog djeteta, odnosno cijela obitelj (Pinjatela i Joković Oreb, 2010). Štoviše, u fokusu terapijskog rada je uvijek cjelokupna obitelj stoga se može zaključiti kako rana intervencija poboljšava opće funkcioniranje obitelji. Svi ciljevi u terapijskom radu ostvaruju se kroz individualizirane razvojne, obrazovne i terapijske usluge za djecu, uz koje se pruža i stručna podrška njihovim obiteljima (Meisels i Shonkoff, 2000). Primjena terapijsko-habilitacijskih postupaka, koji su rano započeti, stručno vođeni te pravilno usmjereni, može pridonijeti oporavku oštećenih funkcija mozga, upravo kroz procese plastičnosti (Mejaški-Bošnjak, 2007). Upravo se činjenica da je ljudski mozak u ranom razvojnom razdoblju karakteriziran najvećom plastičnošću ističe kao ključna prednost rane intervencije. Mozak je posebno plastičan u periodu od 2. do 3. mjeseca prije terminske dobi te od 6. do 8. mjeseca postterminske dobi (Hadders-Algra, 2001b). Dakle, fenomen neuroplastičnosti posebno se ističe u ranim fazama razvoja, dok diferencijacija i funkcionalna organizacija moždanih struktura još uvijek nisu završene (Pinjatela i Joković Oreb, 2010). Neuroplastičnost je jedna od ključnih značajki mozga u razvoju, koji je podložan promjenama te je sposoban kontinuirano učiti. Osim toga, neuroplastičnost obuhvaća niz sposobnosti ljudskog mozga - pohranjivanje informacija, promjenu kao odgovor na stimulaciju iz okoline te oporavak nakon ozljede (Matijević i Marunica Karšaj, 2015). Upravo zbog činjenice da značajan broj poremećaja obilježava razvojno podrijetlo, od neizmjerne je važnosti ostvariti razumijevanje funkcija živčanog sustava te razvojnih procesa specifičnih za prenatalni te rani razvojni period (Petanjek i sur., 2021).

## 2.1. Kratki pregled razvoja mozga

Razvoj ljudskog mozga je proces kojega karakterizira složenost, dugotrajnost te dinamičnost. Navedeni proces započinje prenatalno te se nastavlja odvijati i nakon rođenja, čak tijekom prva tri desetljeća života (Petanjek i sur., 2021). Naime, prva vidljiva naznaka razvoja živčanog sustava, neuralna ploča, vidljiva je već oko dvadeset i trećeg dana nakon začeća. Razvoj mozga započinje već tijekom ranih faza gestacije proliferacijom neurona u germinativnim slojevima u blizini ventrikula. Nedugo nakon toga, neuroni migriraju prema svom konačnom odredištu, kortikalnoj ploči (Bystron, Blakemore i Rakic, 2008). Prije formiranja kortikalne ploče, neuroni se zaustavljaju u privremenom sloju između vertikalnih zona, međuzone (buduće bijele tvari) te kortikalne ploče, odnosno subplate zoni (Kostović i Rakic, 1990). Subplate zona se pojavljuje u ranom fetalnom životu i doseže svoju maksimalnu debljinu u periodu između 28. i 34. tjedna postmenstrualne dobi (Hadders-Algra, 2018a). Studije funkcionalne magnetske rezonancije u stanju mirovanja fetusa pokazale su kako je u razdoblju od 20. tjedana postmenstrualne dobi, odnosno u najmlađoj proučavanoj dobi, najveća aktivnost mozga upravo u subplate zoni (Schöpf, Kasprian, Brugger i Prayer, 2012). Subplate zona ima više uloga: služi kao odjeljak za čekanje za kortikalna aferentna vlakna, glavno je mjesto rane sinaptogeneze i diferencijacije neurona te se smatra središtem prolaznog fetalnog kortikalnog kruga (Kostović, Sedmak, Vukšić i Judaš, 2015). Odnosno, ova moždana struktura ima utjecaj na ponašanje fetusa te glavni dio njenih aferentnih i eferentnih veza prolazi kroz (buduću) periventrikularnu bijelu tvar (Kostović i Judaš, 2006). Ipak, nakon što subplate zona dosegne svoju najveću debljinu, postupno se smanjuje u veličini. Neuroni subplate zone tada prolaze kroz programiranu staničnu smrt, dok se kasnije generirani neuroni premještaju u kortikalnu ploču (Kerschensteiner, 2014) te subplate zona na taj način postupno nestaje sve do razdoblja od oko šest mjeseci posttermnske dobi (Kostović i Judaš, 2006). Već tijekom boravka u subplate zoni, ali i prilikom dolaska neurona do kortikalne ploče, odvija se proces diferencijacije. Odnosno, neuroni počinju stvarati dendrite i aksone, proizvoditi neurotransmitere i stvarati sinapse te razrađivati unutarstanični signalni mehanizam i složene neuralne membrane. Spomenuti proces svoj maksimalni učinak ostvaruje nekoliko mjeseci prije rođenja te tijekom prvih postnatalnih mjeseci. Ipak, postoji iznimka u vidu formiranja sinapsi, koje traje tokom cijeloga života. Osim prethodno spomenutih živčanih stanica, proizvode se i glija stanice, ponajviše u drugoj polovici gestacije. Dio glija stanica odgovoran je za mijelinizaciju

aksona, koja se posebno odvija između drugog tromjesečja trudnoće pa sve do kraja prve postnatalne godine, iako se prvi put završava u dobi od trideset godina (Hadders-Algra, 2010).

Treće tromjesečje gestacije obilježeno je koegzistencijom dvaju odvojenih, no ipak međusobno povezanih kortikalnih krugova. Prvi kortikalni krug odnosi se na prolazne fetalne krugove sa središtem u subplate zoni. Osim njega, u ovom periodu progresivno se razvija i trajni krug sa središtem u kortikalnoj ploči (Kostović, Sedmak, Vukšić i Judaš, 2015). S obzirom na različite regije u korteksu, razlikuje se i trajanje faze dvostrukih krugova. Primjerice, završna faza za primarni motorički, osjetilni te vidni korteks dostiže se oko trećeg mjeseca djetetova života. S druge strane, za asocijativni prefrontalni korteks ovaj proces završava se oko prve godine života (Kostović, Kostović-Srzić, Benjak, Jovanov-Milošević i Radoš, 2014). Razvojna aktivnost dostiže svoj vrhunac u posljednja tri mjeseca prije te prva tri mjeseca nakon terminske dobi, odnosno u trenutku kada se subplate zona počinje otapati, dok se pojavljuju trajni kortikalni sklopovi te trajni kortikalni sklopovi u primarnim motoričkim, osjetilnim i vidnim područjima postižu svoj konačan raspored (Hadders-Algra, 2018a). Transformacija privremenih oblika organizacije kortikalnih neuronskih krugova tijekom kasnog fetalnog razdoblja predstavlja neurobiološku osnovu privremenih oblika funkcionalne aktivnosti i obrasca ponašanja kod nedonoščadi (Bobić Rasonja i sur., 2019). Za optimalno oblikovanje neuralne mreže, odnosno za izgradnju strukturalne podloge koja je ključna za funkcionalnu specijalizaciju određenih kortikalnih polja, nužno je da postoji odgovarajuća stimulacija iz okoline tijekom određenog razvojnog vremenskog prozora (Petanjek i sur., 2021). Spomenuti vremenski prozor je kritično, senzitivno razdoblje za razvoj te se razlikuje za svaku pojedinu funkciju. Naime, po završetku razvojnog vremenskog prozora različite stimulacije iz okoline nemaju značajan utjecaj pri oblikovanju kortikalnih krugova povezanih s tom funkcijom (Petanjek i Kostović, 2012). Nadalje, strukturno-funkcionalno ustrojstvo mozga u nekoliko vremenskih točaka obilježavaju temeljite promjene, koje definiramo kao razvojne reorganizacije. Među tipične reorganizacijske procese ubrajamo primjerice apoptozu (Petanjek i sur., 2021). Dakle, unatoč svim stvaranjima u živčanom sustavu, značajan utjecaj na konačni razvojni ishod ima i eliminacija elemenata. Apoptoza obuhvaća odumiranje neurona te tokom ovog procesa odumire otprilike polovica stvorenih neurona. Osim toga, eliminiraju se i aksoni i sinapse. Neuralni elementi koji se najbolje uklapaju u okolinu opstaju te na taj način omogućavaju prilagodbu mozga vlastitoj okolini. Upravo to nam potvrđuje kako se razvoj mozga, osim značajnog dijela još prije rođenja, događa i postnatalno te

je mozak tijekom cijelog djetinjstva u kontinuiranom procesu preoblikovanja (Hadders-Algra, 2010). Krajem embrionalnog razdoblja mozak već prolazi kroz niz privremenih oblika organizacije, koji se funkcionalno i strukturno značajno razlikuju od organizacije mozga odraslog čovjeka. Spomenute pojave privremene organizacije i reorganizacije omogućavaju tumačenje privremenih funkcionalnih pojava u fetusa, nedonoščeta, novorođenčeta, dojenčeta te malog djeteta (Petanjek i sur., 2021).

Uz sve navedeno, činjenica je da kontinuirane promjene tijekom ranog razvoja, uzrokovane neurobiološkim promjenama, pružaju značajne informacije za kliničare:

1. Činjenica da dijete ima dobno specifičan živčani sustav zahtjeva dobno specifičnu neurološku procjenu. Također, u upotrebi su brojne neuromotoričke tehnike procjene koje su prilagođene dobno specifičnim karakteristikama živčanog sustava.

2. Karakteristike živčanog sustava ovisne o dobi utječu na način na koji se izražava neurološka disfunkcija. U odraslih osoba neurološka disfunkcija odražava specifičnim i lokaliziranim znakovima, dok je u ranom razvoju neurološka disfunkcija izražena generaliziranom i aspecifičnom disfunkcijom.

3. Izražene razvojne promjene živčanog sustava daju važne implikacije za predviđanje razvojnog ishoda. Neurorazvojne promjene mogu potaknuti nestanak disfunkcije no i djeca bez znakova disfunkcije u ranoj dobi mogu s vremenom pokazivati funkcionalni deficit upravo zbog povećanja složenosti neuralnih funkcija povezanog s dobi (Vohr i Garcia Coll, 1985).

Kao što je prethodno spomenuto, neurološki i motorički razvoj djeteta su neodvojivi procesi. Dostupne informacije o razvoju živčanog sustava nude korisne kliničke implikacije. Međutim, za potpuno razumijevanje tih informacija nužno je povezati ih sa informacijama o motoričkom ponašanju u dojenačkoj dobi (Hadders-Algra, 2018b).

## 2.2. Motoričko ponašanje dojenčadi

Motoričko ponašanje čovjeka počinje već tijekom fetalnog razvoja, a do odrasle dobi kontinuirano se mijenja. Sva ponašanja dojenčadi kao što su primjerice gledanje, posezanje te hodanje ubrajaju se u motorička ponašanja (Adolph i Hoch, 2019). Stoga, istraživanje motoričkog razvoja ustvari se odnosi na istraživanje ponašanja. S obzirom na to, spomenuto istraživanje uvelike je olakšano činjenicom da se pokretanje može izravno promatrati. Sam razvoj motoričkog ponašanja kompleksan je i dugotrajan proces koji se proteže od prvog pokreta fetusa sve do kraja ljudskog života. Motoričko ponašanje obuhvaća svaki oblik pokreta u svakom dijelu tijela, u svakom fizičkom i društvenom kontekstu. Dakle, u motoričko ponašanje ubrajamo primjerice nevoljne trzaje, ali i pokrete dohvatanja određenog predmeta (Adolph i Franchak, 2017). U ranom razvojnem periodu dolazi do impresivnog razvoja motoričkih vještina. Kontinuiran i ubrzan proces proširenja motoričkog repertoara omogućuje dojenčetu početak istraživanja okoline koja ga okružuje (Heineman, Middelburg i Hadders-Algra, 2010).

Autorica Hadders-Algra (2018a) navodi kako postoji poveznica između razvoja mozga i motoričkog ponašanja dojenčadi, pri čemu se izdvajaju dvije ključne faze. U prvoj fazi javlja se raznovrsno motoričko ponašanje čiji je primarni cilj istraživanje okoline koja ga okružuje. Ova spontana aktivnost je temeljna značajka živčanog sustava te je spomenuto motoričko ponašanje moguće primijetiti već u ranoj fetalnoj dobi. Aferentne informacije u ovoj fazi primarno se koriste za oblikovanje živčanog sustava u razvoju, a mnogo manje za prilagodbu motoričkog ponašanja specifičnostima okoline. S druge strane, u sljedećem periodu živčani sustav djeteta je spreman za puni angažman kroz cilju usmjerene motoričke aktivnosti. Motoričko ponašanje u drugoj fazi ima za cilj ostvariti prilagodbu te povećati učinkovitost sukladno ograničenjima okoline. Odnosno, u ovom periodu motoričko ponašanje omogućuje djetetu da usvoji vještine dosezanja i hvatanja, sjedenja, stajanja, hodanja te žvakanja i govora. Dijete dakle nastavlja istraživati no ovaj put koristeći i metodu pokušaj-pogreška kako bi adekvatno prilagodilo svoje motoričko ponašanje (Hadders-Algra, 2018a).



### 2.2.1. Spontano motoričko ponašanje

Spontana aktivnost temeljna je značajka živčanog sustava u razvoju (Hadders-Algra, 2018b). Već nekoliko tjedana nakon začeća, mladi ljudski živčani sustav sposoban je endogeno generirati različite pokrete (Einspieler i Prechtel, 2005). Sukladno razvojnim procesima, dojenčad prvotno pokazuje spontano motoričko ponašanje, odnosno motilitet bez cilja. Najraniji pokreti ljudskog fetusa nazivaju se spontani pokreti. Ovi oblici kretanja fetusa mogu se uočiti već u periodu od devetog tjedna postmenstrualne dobi te predstavljaju najčešće promatran obrazac kretanja tijekom fetalnog života djeteta (de Vries, Visser i Prechtel, 1982). Shodno tome, spontani pokreti smatraju se najkompleksnijim i najučestalijim oblikom spontane motoričke aktivnosti fetusa (Katušić, 2020). Spontani pokreti i dalje su učestali po rođenju djeteta sve do razdoblja od tri do četiri mjeseca nakon rođenja kada se postupno zamjenjuju cilju usmjerenom ponašanju (Prechtel i Hopkins, 1986). U početnom razdoblju razvoja fetalne pokrete karakteriziraju male varijacije u smjeru kretanja, amplitudi i brzini. Odnosno, radi se o malim, sporim pokretima savijanja glave ili trupa u stranu. Međutim, već nakon nekoliko dana, većina spontanih pokreta pokazuje značajan stupanj varijacije u brzini, amplitudi, smjeru kretanja te dijelovima tijela koji sudjeluju u izvođenju pokreta. Točnije, prvotno razvijeni pokreti nadograđuju se te dolazi do razvoja pokreta u kojima sudjeluju jedna ili dvije ruke i/ili noge. Ipak, ti pokreti još uvijek ostaju mali, spori, jednostavni i stereotipni. Nedugo nakon pojave ovih pokreta, fetalni repertoar dodatno se proširuje. Javljaju se izolirani pokreti ruku i nogu, trzaji te različiti pokreti glave poput rotacije, antefleksije te retrofleksije. Dob u kojoj se razvijaju različiti pokreti značajno varira, no oko šesnaestog tjedna postmenstrualne dobi svi fetusi pokazuju cjelokupan finalni repertoar, koji ostaje prisutan tokom čitave trudnoće (Hadders-Algra, 2010).

Važno je naglasiti kako spontani pokreti pokazuju karakteristike specifične za dob. Uz to, kao ključno obilježje ističe se to da nisu usmjereni ka cilju niti prilagođeni okolini (Heineman, 2010). Prema autorici Hadders-Algra (2004) sam razvoj spontanih pokreta definiran je kroz tri faze. Prvu fazu spontanih pokreta, koja se odvija u vremenskom rasponu od 28. do 38. tjedna postmenstrualne dobi. Ova faza karakterizirana je obilnim varijacijama te je za nju specifično i sudjelovanje zdjelice i trupa u gotovo svim pokretima (Hadders-Algra, Klip-Van den Nieuwendijk, Martijn i van Eykern, 1997). Sljedeća faza spontanih pokreta svoj razvoj započinje u periodu od 36. do 38. tjedna gestacije, a završava do 7. tjedna posttermske dobi. U

navedenom periodu dolazi do izmjene vrlo varijabilnih pokreta u pokrete uvijanja, po čemu ova faza dobiva svoj naziv - faza uvijanja (engl. wrighting age). U usporedbi s prethodnim pokretima, pokreti u ovoj fazi su malo sporiji i manje uključuju zdjelicu i trup. Normalni pokreti uvijanja su grubi pokreti koji uključuju cijelo tijelo, a mogu trajati od nekoliko sekundi do nekoliko minuta ili duže. Njihova specifičnost je promijeniv slijed pokreta ruku, nogu, vrata i trupa. Osim toga, karakterističan je i postupan početak i kraj ovih pokreta, te njihov rast i opadanje u brzini, intenzitetu i snazi. Među abnormalne pokrete uvijanja ubrajaju se siromašan repertoar pokreta te grčevito sinkronizirani pokreti (Prechtl, 1997). Završna faza spontanih pokreta traje od 8. pa sve do 16. tjedna posttermanske dobi. Glavno obilježje ove faze su pokreti vrpoljenja pa je i nazivamo fazom vrpoljenja (engl. fidgety age). Dakle, u ovoj dobi uvijajući karakter pokreta nestaje te ga zamjenjuje kontinuiran niz malih, elegantnih pokreta koji se javljaju nepravilnim slijedom u cijelom tijelu (Hadders-Algra i Prechtl, 1992). Normalni pokreti vrpoljenja su kružni pokreti male amplitude, umjerene brzine i promjenjivog ubrzanja. Kontinuirano se javljaju u budnom stanju dojenčadi, s iznimkom tijekom usredotočene pažnje, uznemirenosti ili plača. Također, mogu se istodobno pojavljivati i sa drugim pokretima. Pokrete vrpoljenja smatramo abnormalnima ukoliko se uopće ne pojavljuju ili se pak njihova amplituda, brzina i trzaji značajno razlikuju od uobičajenih pokreta vrpoljenja (Prechtl, 1997). Spontane pokrete karakterizira specifična trijada parametara: varijacija (raznolikost), složenost i fluentnost. Ukoliko govorimo o abnormalnim spontanim pokretima, navedena trijada pokazuje se u smanjenom opsegu (Hadders-Algra i sur., 1997). Varijacija se odnosi na vremensku raznolikost pokreta. Odnosno, varijacija označava sposobnost dojenčeta da kroz vrijeme kontinuirano proizvodi nove obrasce kretanja. Složenost se u ovom slučaju definira kao prostorna raznolikost pokreta. Dakle, složeni pokreti su oni pokreti tijekom kojih dojenče aktivno proizvodi relativno česte promjene smjera u različitim dijelovima tijela. Fluentnost motoričkog ponašanja implicira na prisutnost glatkih i gracioznih pokreta, koji se odvijaju bez uloženog napora. Uz to, fluentnost označava i brzinu pokreta, odnosno sposobnost postepenog ubrzanja i usporavanja prilikom izvođenja pokreta (Hadders-Algra, 2004). Sukladno navedenim parametrima, Hadders- Algra (2004) definira klasifikaciju spontanih pokreta u četiri razreda kvalitete - dva oblika normalnih spontanih pokreta te dva oblika abnormalnih spontanih pokreta. Spomenuta klasifikacija razvrstana po kvaliteti spontanih pokreta vidljiva je u Tablici 1. Dakle, među normalne spontane pokrete svrstavamo optimalne spontane pokrete koje karakterizira izrazita složenost, varijacija i

fluentnost, te suboptimalne spontane pokrete za koje je također karakteristična značajna složenost i varijacija, no nedostaje im fluentnosti. Većina dojenčadi u svom motoričkom ponašanju pokazuje upravo suboptimalne spontane pokrete. S druge strane, abnormalni spontani pokreti obuhvaćaju blago abnormalne spontane pokrete koji su nedovoljno složeni i varijabilni te također i nedovoljno fluentni, te definitivno abnormalne spontane pokrete kojima gotovo u potpunosti nedostaju sva tri parametra (Hadders-Algra i sur., 2004).

**Tablica 1.** Klasifikacija kvalitete spontanih pokreta (Hadders-Algra i sur., 2004)

KLASIFIKACIJA	SLOŽENOST	VARIJACIJA	FLUETNOST
Normalni - optimalni spontani pokreti	+++	+++	+
Normalni - suboptimalni spontani pokreti	++	++	-
Blago abnormalni spontani pokreti	+	+	-
Definitivno abnormalni spontani pokreti	-	-	-

*Napomena.* Složenost i varijacija: +++, obilno prisutno ; ++, dovoljno prisutno; +, prisutno, ali nedovoljno; - gotovo ili u potpunosti odsutno. Fluentnost: + prisutno; - odsutno.

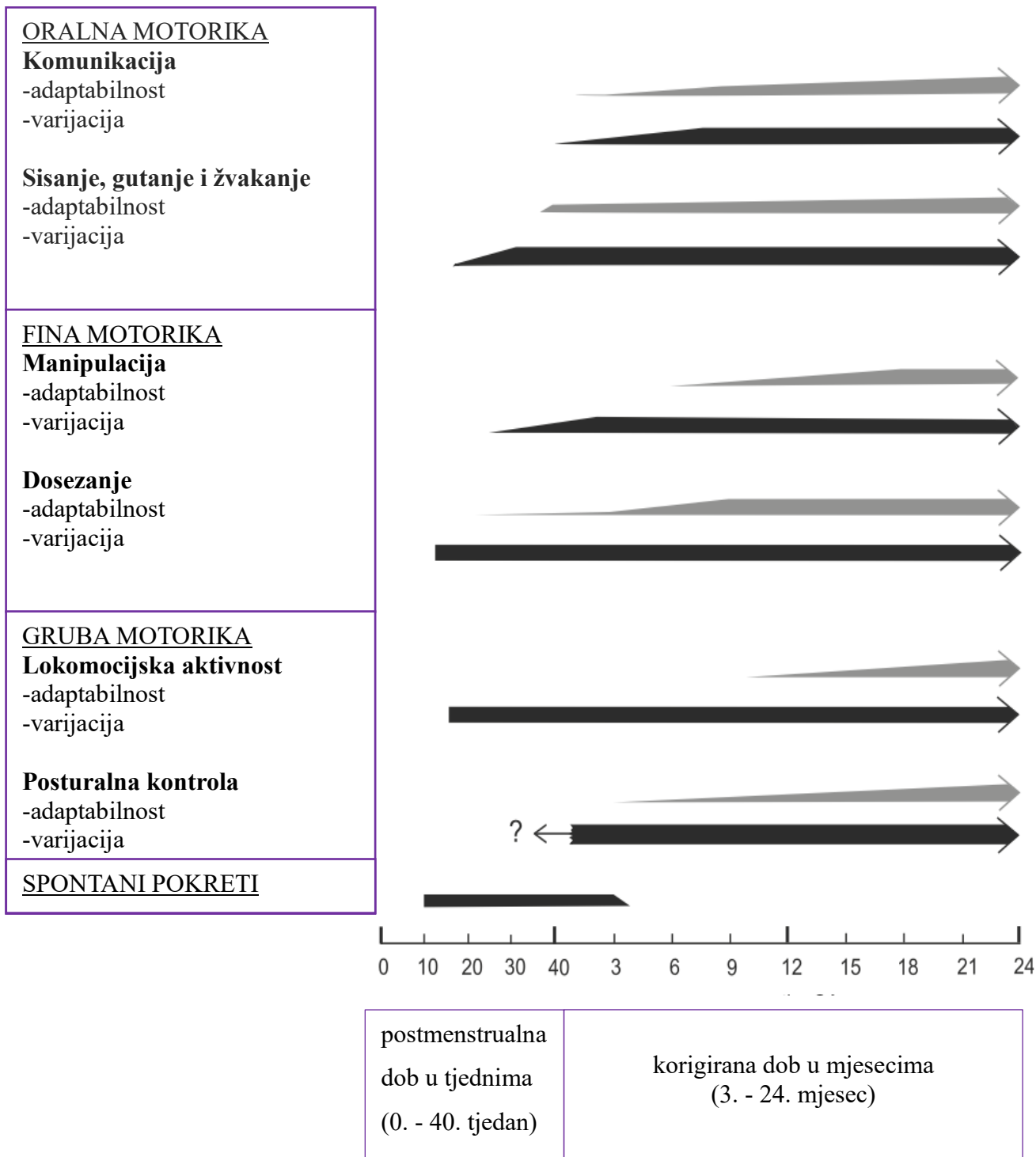
Heinz Prechtl smatra se pionikom u području ranog neurološkog razvoja, a osim toga jedan je od prvih znanstvenika koji naglašava važnost spontanog motoričkog ponašanja u ranom razvoju te ukazuje na to da samogenerirana pokretljivost tijekom ranog razvoja ima važnu ulogu u preživljavanju i prilagodbi. Također, isti autor otkriva kako kvaliteta spontanog motiliteta ispravno odražava stanje živčanog sustava fetusa i dojenčeta (Einspieler, Prechtl, Ferrari, Cioni i Bos, 1997). Razvojni period između trećeg i četvrtog mjeseca posttermnske dobi od velike je važnosti jer, između ostalih promjena, upravo u ovom periodu nestaju spontani pokreti. Točnije, spontani pokreti se postupno zamjenjuju sa ciljano usmjerenom aktivnošću ruku i nogu. Ukoliko to povežemo sa razvojem živčanog sustava, istraživanja u kojima je korišteno funkcionalno oslikavanje mozga sugeriraju kako povećanje aktivnosti u bazalnim ganglijima, malom mozgu, parijetalnom, temporalnom te okcipitalnom korteksu ima značajnu ulogu u prijelazu ponašanja u navedenom periodu (Rubinstein i sur., 1989).

### 2.2.2. Cilju usmjereno motoričko ponašanje

Postupnim nestankom spontanih pokreta dolazi do razvoja cilju usmjerenog motoričkog ponašanja. Ključno obilježje tijekom razvoja ovog oblika motoričkog ponašanja je intraindividualna i interindividualna varijacija. Varijacije mogu biti različite, a javljaju se primjerice u nastanku funkcije, u izvedbi funkcije, trajanju određenih razvojnih faza te nestanku infantilnih reakcija. Također, varijacije u razvoju obuhvaćaju istovremeno odvijanje različitih razvojnih faza (Touwen, 1976). Primjerice, paralelno se razvija funkcija puzanja na trbuhu s puzanjem na rukama i koljenima te dijete u istom vremenskom periodu pokazuje obje funkcije. Važno je napomenuti kako je moguće da dijete tipičnog razvoja pokazuje privremenu regresiju, odnosno nedosljednost, u razvoju određene funkcije. Međutim, sve dok se ta regresija manifestira isključivo na jednu funkciju, moguće je smatrati ju još jednim izrazom razvojne varijacije. Činjenica je kako sporiji razvoj jedne funkcije uobičajeno nije od kliničkog značaja no opće kašnjenje svakako jest klinički značajno (Hadders-Algra, 2010).

Motilitet usmjeren ka cilju u početnom periodu karakteriziran je visokom varijabilnošću. Odnosno, za svaku motoričku funkciju istražuju se sve potencijalne motoričke strategije te njima odgovarajuće neuronske mreže. Ipak, s vremenom dojenčad počinje birati prilagodljivije motoričke strategije. Dakle, motoričko ponašanje postaje učinkovitije i samim time prilagođeno zahtjevima zadatka, odnosno okoline. Jednostavnije rečeno, u dojenačkoj dobi iz motoričkog ponašanja koje se ne može prilagoditi uvjetima specifičnim zadatku dolazi do prijelaza na adaptivno motoričko ponašanje. Sam prijelaz označava promjenu u motoričkom ponašanju koju opažatelj može zamijetiti. Glavna karakteristika ovog prijelaza jest da se odvija u dobi specifičnoj za funkciju. Primjerice, prijelaz u sposobnosti sjedenja odvija se između šestog i desetog mjeseca, dok se u sposobnosti dosezanja odvija između šestog i dvanaestog mjeseca (Heineman, Middleburg i Hadders-Algra, 2010). Ključna područja cilju usmjerenog motoričkog ponašanja (oralna, gruba i fina motorika) značajno se razlikuju u periodu javljanja prijelaznih razdoblja (Hadders-Algra, 2018b), što je vidljivo iz Ilustracije 1.

*Ilustracija 1.* Pregled razvoja faza varijacije i adaptabilnosti u razvoju oralne, fine i grube motorike (prema Hadders-Algra, 2018b)



## **Oralna motorika**

Hadders-Algra (2018b) izdvaja dvije ključne funkcije oralne motorike - hranjenje (sisanjem, griženjem, žvakanjem i gutanjem) te komuniciranje (vokalizacijom ili verbalizacijom).

Pokreti sisanja i gutanja u fetusa uočeni su već od 12. tjedna postmenstrualne dobi nadalje. Ipak, učestalost sisanja i gutanja u prvoj polovici gestacije je niska (de Vries, Visser i Prechtl, 1985). Prvi pokreti čeljusti, usana, jezika i ždrijela relativno jednostavni. S vremenom postaju složeniji, odnosno razvijaju se u ponavljajuće pokrete otvaranja i zatvaranja usta, a pokreti jezika razvijaju se do pokreta naprijed-nazad potrebnih za uspješno sisanje i gutanje novorođenčeta (Miller, Sonies i Macedonia, 2003). Nakon rođenja, nutritivno sisanje i gutanje moraju se kombinirati s disanjem, što je veoma zahtjevan zadatak (Hadders-Algra, 2018b). Dojenčad u početku dobiva majčino mlijeko kao primarnu hranu, dok s vremenom počinje jesti i polučvrstu hranu koju oralno istražuje primarno sisanjem (Gisel, 1991). Žvakanje se javlja od 4. mjeseca nadalje, prvo bez prilagodbe, a od 6. mjeseca sa sve većom sposobnošću prilagodbe pokreta teksturi i veličini hrane, a učinkovitost žvakanja se poboljšava sve do predškolske dobi (Hadders-Algra, 2018b). Još u fetalnom razvoju, javljaju se različiti pokreti lica poput podizanja obrva ili otvaranja usta, koji se u drugoj polovici gestacije značajno nadograđuju (Hadders-Algra, 2018b). Između 5. i 10. tjedana posttermske dobi, dojenče uči odabrati izraz osmijeha kao odgovor na lice drugog čovjeka - pojavljuje se društveni smijeh (Touwen, 1976). Tijekom prve godine djetetova života povećava se broj i brzina pokreta lica te se pojačava veza između različitih pokreta, što je posebno važno za razvoj govora (Green i Wilson, 2006). Od rane postnatalne dobi nadalje, dojenčad istražuje svoj repertoar vokalizacija (plač, smijeh). Također, dojenče proizvodi takozvane protofone, odnosno prethodnike verbalizacije, čiji se repertoar s godinama širi i sami portofoni postaju sve složeniji (Nathani, Ertmer i Stark, 2006). Između 3. i 5. mjeseca dojenčad sve češće iz raznolikog dječjeg repertoara samoglasnika odabire vokale koji imaju frekvencijske karakteristike slične odraslima, što je uzrokovano oponašanjem govora odraslih. U drugoj polovici godine novorođenčad nakon termina počinje proizvoditi izvorne nizove samoglasnika i suglasnika te otprilike u dobi od godinu dana to rezultira stvaranjem prvih riječi. Nakon toga razvoj govora i jezika nastavlja se godinama (Hadders-Algra, 2018b).

## **Fina motorika**

Funkcije fine motorike uobičajeno se odnose na funkcije gornjih ekstremiteta te uključuju sposobnost dohvaćanja predmeta, podizanja, nošenja i rukovanja s njima. Najčešće se među funkcijama fine motorike izdvajaju dvije komponente - transportna komponenta, koja pomiče ruku od početnog položaja do predmeta, te manipulacijska komponenta, u okviru koje dolazi do hvata predmeta (Hadders-Algra, 2018b). Tijekom trudnoće fetalna pokretljivost ruku varira, s otprilike jednom trećinom do polovice pokreta ruku usmjerenih na usta, lice ili glavu (Sparling, van Tol i Chescheir, 1999). U prva 2-3 mjeseca nakon termina dojenčad također usmjerava otprilike jednu trećinu ili polovicu pokreta ruku na lice., što rade spontano i također kada im se neki predmet stavi u ruku. Od 4. mjeseca posttermske dobi nadalje, dojenčad češće pomiče ruke na ciljno mjesto, usta, osobito im je u vidnom polju i neki predmet, a u dobi od 5. mjeseci posttermske dobi pomicanje ruku je popraćeno anticipacijskim otvaranjem usta (Lew i Butterworth, 1997). Sposobnost posezanja razvija se postupno, a rezultira uspješnim dohvaćanjem predmeta u dobi od oko četiri mjeseca nadalje, iako u ovoj dobi navedeni pokreti još uvijek imaju nepravilnu i fragmentiranu putanju koja se sastoji od više jedinica pokreta. Ovu sposobnost ponajviše karakterizira istraživačka priroda ranog dosega i snažnog oslanjanja prvih pokreta posezanja na povratne i kontrolne mehanizme (von Hofsten, 1979). Prve uspješne pokrete dosezanja karakteriziraju varijacije: varijacije u putanji, brzini kretanja, amplitudi pokreta i trajanju pokreta (von Hofsten, 1991). Za razliku od ciljano usmjerena aktivnosti na dijelove vlastitog tijela, posezanje prema vanjskom objektu zahtijeva od djeteta da locira predmet u prostoru i da tu informaciju pretoči u pokret gornjeg ekstremiteta ka predmetu. S vremenom, pokreti posezanja postaju sve tečniji i ravniji, a orijentacija ruke adekvatno se usmjerava ka predmetu (Hadders-Algra, 2018b). S druge strane, pokreti prstiju prisutni su već od 12. tjedna postmenstrualne dobi premda još uvijek prevladava stiskanje šake. Izolirane pokrete prstiju i sekvence pokreta prstiju moguće je primijetiti u okviru spontanijih pokreta (de Vries, Visser i Prechtel, 1984). Od trećeg mjeseca pottermske dobi, stiskanje šake se smanjuje, a povećavaju se uzastopni i izolirani pokreti prstiju tijekom spontanijih pokreta (Ferrari i sur., 2016). U ranom hvatanju, u razdoblju od oko 4. i 5. mjeseci posttermske dobi, uglavnom se uočava palmarni hvat - hvat sa cijelim dlanom u kojem se koristi cijela palmarna površina i svi prsti. Ipak, djeca od 4. mjeseca posttermske dobi kada im se daju maleni predmeti (veličine 1 do 2 cm) mogu pokazati značajnu varijaciju hvata, od hvatanja predmeta cijelim dlanom do hvatanja samo palcem i

kažiprstom (Newell, Scully, McDonald i Baillargeon, 1989), dok se nakon 6. mjeseca posttermske dobi povećava učestalost potonje spomenutog hvata (Touwen, 1976). S vremenom, pokreti palca i kažiprsta postaju specijaliziraniji - u dobi od 6. do 9. mjeseca dominira hvat s ispruženim palcem i kažiprstom, od 9. do 14. mjeseca inferiorni pincetni hvat sa ispruženim palcem i flektiranim kažiprstom te se oko 14. mjeseca primjećuje konačan oblik pincetnog hvata s fleksijom palca i kažiprsta (Touwen, 1976). U konačnici, zbog dugotrajnih razvojnih promjena potreban je još dug vremenski period dok fina motorika dojenčeta dosegne konfiguraciju odraslih osoba (Hadders-Algra, 2018b).

### **Gruba motorika**

Gruba motorika uključuje sposobnost održavanja položaja tijela i kretanja promjenom položaja ili lokacije tijela, što implicira na ključnu ulogu posturalne kontrole (Massion, 1998) te kasnije i samostalnog hoda (Hadders-Algra, 2018b). Prije rođenja, fetusu pluta u amniotskoj tekućini te mu stijenke maternice pružaju potporu, zbog čega je potrebna tek mala razina posturalne kontrole. Međutim, postnatalno dolazi do velikih promjena - djetetu nedostaje sveobuhvatna potpora te je izloženo i silama gravitacije (Hadders-Algra, 2018b). Stoga se kao jedno od glavnih postignuća u dojenačkoj dobi svakako ističe razvoj posturalne kontrole. Upravo posturalna kontrola omogućava sposobnost stajanja i hodanja bez potpore (Hadders-Algra, 2005). Posturalna kontrola primarno ima za cilj održavanje okomitog položaja glave i trupa protiv sila gravitacije, jer se time stvaraju optimalni uvjeti za razvoj vida te samim time i motiliteta usmjerenog ka cilju. S obzirom na to da okomita orijentacija proksimalnih dijelova tijela osigurava optimalne uvjete za motilitet usmjeren cilju, nužno je uspješno se suprostaviti gravitaciji (Massion, 1998). Razlikujemo dvije funkcionalne razine posturalne kontrole. Osnovna razina usmjerena je na specifičnost smjera prilagodbe. Dakle, u situacijama kada se tijelo njiše prema naprijed, primarno se aktiviraju dorzalni mišići. Nasuprot tome, kada se tijelo njiše unatrag, aktiviraju se ventralni mišići (Forssberg i Hirschfel, 1994). Dojenčad pokazuje varijabilan repertoar prilagodbi specifičnih za smjer. Upravo iz tog repertoara metodom pokušaja i pogreške uče odabrati prilagodbu koja najbolje odgovara određenoj situaciji. Posturalna kontrola dalje služi kako bi dijete naučilo samostalno sjediti. S vremenom, sredstva za prilagodbu posturalne aktivnosti postaju sve profinjenija. Još jedna velika razvojna promjena odvija se u dobi od dvanaest do četrnaest mjeseci, kada se javlja anticipacijska posturalna aktivnost. Upravo navedena aktivnost vrlo snažno potiče razvoj samostalnog hoda



(Hadders-Algra, 2005). Već pri rođenju novorođenčice, kao i prethodno fetus, pokazuje lokomocijsko ponašanje u obliku neonatalnih koračanja. Naravno, navedeni pokreti primitivnog su karaktera i uvelike se razlikuju od fleksibilnog hoda u odraslih osoba. Neonatalno koračanje ponajprije karakterizira nedostatak pokreta specifičnih za segmente. Dakle, noge se savijaju i ispružaju kao jedna cjelina, a odsutan je i udarac pete (Hadders-Algra, 2010). Nakon nestanka ove motoričke aktivnosti, slijedi razdoblje "lokomocijske tišine". Međutim, pri kraju prve postnatalne godine javlja se cilju usmjereno motoričko ponašanje prvotno u obliku puzanja te lokomocije uz podršku. Također, prekretnica prijelaza u samostalan hod nije povezana s velikom promjenom u specifičnim lokomocijskim aktivnostima. Ova činjenica upućuje na to da pojava neovisnog kretanja nije prvenstveno izazvana promjenama u lokomocijskim mrežama. Pretpostavka jest da je razvoj samostalnog hoda u velikoj mjeri determiniran razvojem posturalne kontrole (Frossberg i Dietz, 1997). Daljnji motorički razvoj nakon djetinjstva karakterizira postupno povećanje agilnosti, prilagodljivosti te sposobnosti izvođenja složenih sekvenci pokreta. Upravo taj proces definira se kao faza sekundarne varijabilnosti. Tijekom trajanja te faze odvija se kontinuirana interakcija procesa sazrijevanja te promjenjivih tjelesnih proporcija i iskustva. Rezultat spomenute interakcije su visoko prilagodljivi sekundarni neuronski repertoari (Hadders-Algra, 2000a). Stvaranje sekundarnih neuronskih repertoara u uskoj je vezi s opsežnim preuređenjem sinapsi, kao rezultat formiranja i eliminacije sinapsi (De Graaf-Peters i Hadders-Algra, 2006).

### **3. Razvojne teorije**

Razvoj motoričkih sposobnosti predstavlja složen proces u kojem sudjeluje niz čimbenika. Prve dvije godine života predstavljaju period intenzivnog rasta i razvoja, u kojem se događa proces transformacije od dojenčadi u potpunoj ovisnosti o drugima do djece koja samostalno istražuju svijet oko sebe. Unutar te dvije godine motorički razvoj zaista je impresivan - razvijaju se vještine posezanja, hvatanja, sjedenja, puzanja, stajanja i hodanja (Heineman, 2010). Tijekom prošlog stoljeća istraživanja u razvojnoj neurologiji dala su niz značajnih novih paradigmi o funkcionalnom razvoju ljudskog živčanog sustava (Prechtel, 2001) te se znanje o mehanizmima koji upravljaju funkcijama središnjeg živčanog sustava naglo povećalo s razvojem sofisticiranih fizioloških, neurokemijskih i slikovnih tehnika (Hadders-Algra, 2000a). Unatoč napretku u razumijevanju razvojnih procesa u ljudskom mozgu, ljudske spoznaje o neurobiološkim mehanizmima koji su u osnovi motoričkog razvoja i dalje su ograničene. Kao posljedica toga, razvijeno je više teorija motoričkog razvoja, a sve s ciljem olakšavanja razumijevanja tipičnog i atipičnog motoričkog razvoja (Hadders-Algra, 2010). Ove teorije se razlikuju, posebno u pogledu uloge genetskih predispozicija (engl. nature) i utjecaja okoline i odgoja (engl. nurture) (Heineman, Middelburg i Hadders-Algra, 2010). Važno je razumjeti povijesnu pozadinu razvojnih teorija i razloge zašto su one zastarjele i kako su zamijenjene na empirijskim temeljima (Prechtel, 2001).

#### **3.1. Neuromaturacionistička i dinamička teorija**

##### **Neuromaturacionistička teorija**

Tijekom većeg dijela prošlog stoljeća, motorički razvoj uglavnom se smatrao urođenim procesom sazrijevanja (Hadders-Algra, 2000b) te se godinama tipičan motorički razvoj tumačio u okviru neuromaturacionističkih teorija (Hadders-Algra, 2001a). Neuromaturacionističke teorije naglasak stavljaju na utjecaj endogenih, genetskih čimbenika na razvoj (Heineman, Middelburg i Hadders-Algra, 2010). Zagovornici ove teorije polaze od ideje da motorički razvoj proizlazi iz sve veće kortikalne kontrole nad nižim refleksima. Uz to, sugeriraju da se motorički razvoj temelji na postupnom razvijanju unaprijed određenih obrazaca u središnjem živčanom sustavu (Peiper, 1963). Primjerice, Peiper (1963) je istaknuo da različiti dijelovi mozga nisu jednako funkcionalni pri rođenju, već da se funkcija postupno razvija od srednjeg mozga prema moždanim hemisferama,

koje su još uvijek neurološki neaktivne pri rođenju. Osim toga zagovornici ove teorije smatraju kako osnovne motoričke vještine poput stajanja i hodanja nisu naučene iskustvom, već su rezultat cerebralnog sazrijevanja (Hadders-Algra, 2000a). Ideja da se obrasci ponašanja javljaju u određenom genetskom slijedu dovela je do prepoznavanja općih razvojnih pravila, kao što su cefalokaudalno (od glave prema stopalu) i od središnje do distalne (od središta prema udovima) linije razvoja (Hadders-Algra, 2000a). Neuromaturacionističke teorije ostavljaju tek malo prostora za razvojne modifikacije pomoću okolišnih čimbenika i iskustva (Hadders-Algra, 2001a).

McGraw (1943) je također bila pionir u području ranog razvoja i obično se teoretski klasificira kao neuralni maturacionist. Njezino istraživanje doseglo je vrhunac tijekom 1930-ih i 1940-ih, kada su neuromaturacionističke ideje bile dominantne. McGraw je smatrala kako motorički razvoj dojenčadi nije u potpunosti definiran unaprijed određenim pravilima. Zaključila je da stimulacija može imati učinak samo unutar razvojnog okvira koji je odredila priroda, ili kako je napisala: "Određena količina neuralnog sazrijevanja mora se dogoditi prije nego što se bilo koja funkcija može modificirati specifičnom stimulacijom". Iako je smatrala endogene procese sazrijevanja glavnim pokretačkim snagama razvoja, autorica priznaje da iskustvo tijekom određenih vremenskih prozora može promijeniti ishod motoričkog razvoja. Prema tome, McGraw zaključuje da motorički razvoj proizlazi iz kombinacije genetskog nasljeđa i vanjskih poticaja, što implicira da nije čisti zagovornik isključivo neuralnog sazrijevanja (Hadders-Algra, 2000a).

### **Teorija dinamičkih sustava**

S druge strane, Thelen (1995) i ostali zagovornici teorije dinamičkih sustava smatraju takvo zanemarivanje doprinosa vanjskih čimbenika motoričkom razvoju nekompatibilnim sa stvarnošću. U posljednja dva desetljeća 20. stoljeća postaje sve jasnije da iskustvo također ima značajan utjecaj na motorički razvoj (Hadders-Algra, 2010) te da razvoj nije samo proces odvijanja urođenih programa (Hadders-Algra, 2000b). Teorija dinamičkih sustava naglašava kako okolišni i kontekstualni čimbenici imaju dominantnu ulogu u oblikovanju motoričkog razvoja (Heineman, Middelburg i Hadders-Algra, 2010). Ova teorija javlja se kao paralela neuromaturacionističkoj teoriji te polazi od ideja nekoliko znanstvenika poput Kuglera, Schönera te Kelsoa. Navedeni znanstvenici slijedili su Bernsteinovo pitanje objavljeno u njegovoj knjizi 1935. godine, koji je među prvima pokušao razumjeti kako živčani sustav rješava problem motoričke koordinacije.

Bernstein je shvatio da postizanje koordiniranih pokreta u tijelu koje se sastoji od stotina mišića i zglobova zahtijeva specifične strategije živčanog sustava (Hadders-Algra, 2000a).

Prema teoriji dinamičkih sustava, motorički razvoj je dinamički složen sustav koji se tijekom vremena mijenja zbog interakcije više komponenti. Komponente se sastoje od kombinacije različitih intrinzičnih čimbenika, kao što su snaga mišića, tjelesna težina, posturalna potpora, djetetovo raspoloženje i razvoj središnjeg živčanog sustava, te ekstrinzičnih čimbenika kao što su uvjeti okoliša i specifični zahtjevi zadatka (Hadders-Algra, 2001a). Uz to, ponašanje se mijenja i razvija na nelinearan način, odnosno putem prijelaza, zbog promjena u karakteristikama intrinzičnih ili ekstrinzičnih čimbenika (Thelen, 1995). Prednost primjene teorije dinamičkih sustava u području motoričkog razvoja je činjenica da otvara mogućnosti za modificiranje motoričkog napretka kroz manipulaciju okolinom. Međutim, nedostatak prilično općenito formulirane teorije dinamičkih sustava jest to što relativno malo pažnje posvećuje specifičnostima različitih stanja središnjeg živčanog sustava. Prema Hadders-Algra (2000b), moguće je da relativno zanemarivanje uloge živčanog sustava u motoričkom razvoju među znanstvenicima koji primjenjuju koncepte dinamičkih sustava proizlazi iz njihova fokusa na tipičan razvoj. Međutim, kada je riječ o djeci s motoričkim poremećajima, postaje očito da stanje mozga ima značajan utjecaj na motorički razvoj (Hadders-Algra, 2000b).

Razlike između teorije dinamičkih sustava i neuromaturacionističkih teorija posebno se odnose na ulogu živčanog sustava u motoričkom razvoju. Prema neuromaturacionističkim teorijama, sazrijevanje živčanog sustava smatra se glavnim ograničenjem za napredak u razvoju. Drugim riječima, prema ovoj teoriji motorički razvoj ovisi o unaprijed određenim stupnjevima sazrijevanja živčanog sustava, koji određuju kada i kako će se motoričke vještine razvijati. S druge strane, u teoriji dinamičkih sustava, naglasak je na interakciji između djeteta i okoline, pri čemu neuralni supstrat igra manje dominantnu ulogu. To znači da se razvoj promatra kao rezultat kompleksnih interakcija između djetetovih sposobnosti, okoline u kojoj se dijete nalazi i zadatah ograničenja. Dakle, u ovoj perspektivi, razvoj se ne svodi samo na sazrijevanje živčanog sustava, već i na aktivnu ulogu koju okolina ima u oblikovanju razvojnih ishoda (Hadders-Algra, 2000a).

Trenutno su dva najpopularnija teorijska okvira za proučavanje motoričkog razvoja teorija dinamičkih sustava i teorija selekcije neuronskih grupa. Ove teorije dijele stajalište da je motorički razvoj kompleksan i nelinearan proces koji uključuje faze prijelaza i koji je pod utjecajem brojnih

čimbenika. Navedeni čimbenici mogu varirati od osobnih karakteristika djeteta do vanjskih utjecaja kao što su uvjeti stanovanja, prisutnost poticajnih skrbnika i dostupnost igračaka. Odnosno, obje teorije priznaju važnost iskustva i relevantnost konteksta u oblikovanju motoričkog razvoja (Hadders-Algra, 2010). Međutim, ove dvije teorije razlikuju se u svojem pristupu ulozi genetski uvjetovanih neurorazvojnih procesa. Teorija dinamičkih sustava ističe ograničenu ulogu genetskih čimbenika u motoričkom razvoju. S druge strane, teorija selekcije neuronskih grupa ističe da genetski čimbenici, epigenetske kaskade i iskustvo imaju jednako važne uloge u motoričkom razvoju (Hadders-Algra, 2010).

### **3.2. Teorija selekcije neuronskih grupa**

Gerlad M. Edelman autor je koji je razvio novi teorijski koncept o neuralnom razvoju - Teoriju selekcije neuronskih grupa (engl. Neuronal Group Selection Theory, NGST). Upravo ova teorija, ističe Heineman (2010), ima potencijal okončati kontinuiranu raspravu "priroda-odgoj", budući da teorija jasno ukazuje na to da razvojem ne upravlja isključivo genetski određen neuralni supstrat niti okolišni uvjeti. Umjesto toga, naglašava se ideja da je razvoj rezultat složenog ispreplitanja informacija iz gena i okoliša. Teorija selekcije neuronskih grupa kombinira "prirodni" dio neuromaturacionističkih teorija te "odgojni" dio teorija dinamički sustava (Hadders-Algra, 2000b) te upravo zbog toga upravo ova teorija može pružiti savršenu ravnotežu između prethodno spomenutih teorija i potaknuti učinkovitu intervenciju kod djece s motoričkim poremećajima (Hadders-Algra, 2000a). Dakle, ova teorija pruža novi pogled na razvoj, naglašavajući važnost složenih interakcija između gena i okoline te ulogu ponašanja u oblikovanju razvoja neuralnih sklopova (Hadders-Algra, 2000b). Prevođenje koncepta teorije selekcije neuronskih grupa u domenu motoričkog razvoja čovjeka rezultira razvojnim napretkom s dvije različite faze varijabilnosti (Hadders-Algra, 2000b). Prema teoriji selekcije neuronskih grupa, mozak, odnosno, skup kortikalnih i subkortikalnih sustava, organiziran je dinamički u varijabilne mreže čija se struktura i funkcija razvijaju na temelju odabira tijekom razvoja i ponašanja. Ključne jedinice odabira su skupovi od stotina do tisuća snažno međusobno povezanih neurona, odnosno neuronske grupe. Ove grupe djeluju kao funkcionalne jedinice koje se bave, primjerice, određenim tipovima motoričkog ponašanja ili informacijama iz specifičnih osjetnih modaliteta (Heineman, 2010). Ljudsko ponašanje karakterizirano je varijacijama. Svaka jedinka ima širok repertoar motoričkih, kognitivnih i društvenih radnji koje se mogu posložiti u gotovo beskonačne kombinacije. Samim

time, navedeni repertoar omogućuje fleksibilnu prilagodbu različitim uvjetima, a uključuje i stvaranje novih rješenja (Hadders-Algra, 2010). Varijacije su prisutne u gotovo svim razvojnim parametrima, kao što su motorička izvedba, razvojni slijed ili trajanje razvojnih faza no nisu uvijek jednako obilne (Hadders-Algra, 2000a). Osim toga, varijacije se izdvajaju kao temelj za adekvatnu razvojnu koordinaciju između neuronske aktivnosti te biomehanike mišićno-koštanog sustava. Navedena koordinacija rezultat je somatskih selektivnih procesa unutar neuralnih krugova (Polovina, Škorić Polovina, Polovina i Polovina-Prološćić, 2010).

### **3.2.1. Primjena teorije selekcije neuronskih grupa na motorički razvoj**

Sve je veći broj istraživanja koja potvrđuju činjenicu da je obilje cerebralne povezanosti neuralna osnova varijabilnosti ljudskog ponašanja. Za tipičan motorički razvoj specifične su varijacije i adaptabilnost, dok atipičan razvoj karakteriziraju oskudna varijacija i adaptabilnost (Hadders-Algra, 2010).

Teorija selekcije neuronskih grupa nalaže kako tipičan motorički razvoj karakteriziraju dvije faze. Prva, faza primarne varijabilnosti, obilježena je djelovanjem varijacija u motoričkom ponašanju koje nisu prilagođene vanjskim uvjetima. Odnosno, dojenčad iskazuje spontanu, samogeneriranu aktivnost tijekom ovog razdoblja. Upravo uz pomoć takve aktivnosti istražuju se primarne neuronske mreže, koje su već prisutne prilikom rođenja, te odgovarajući motorički repertoari (Heineman, 2010). Druga faza motoričkog razvoja naziva se fazom sekundarne varijabilnosti, odnosno adaptabilnosti. U ovoj fazi dijete razvija sposobnost da iz tog opsežnog motoričkog repertoara izabere adekvatnu motoričku strategiju u danoj situaciji. Ovaj proces učinkovitog odabira u velikoj mjeri ovisi o aferentnim informacijama tijekom samogeneriranih, spontanih aktivnosti. Jednostavnije rečeno, tijekom istraživanja i selekcije dijete razvija sposobnost prilagodbe motoričkog ponašanja ograničenjima okoline. Sposobnost učinkovitog odabira adaptivnih motoričkih strategija iz motoričkog repertoara javlja se u dobi specifičnima za svaku pojedinu funkciju (Hadders-Algra, 2000a). Razvojne promjene u živčanom sustavu, koje se temelje na neprekidnoj interakciji između genetskih informacija i iskustva, u konačnici omogućuju sve složenije motoričke vještine. Kao rezultat toga, odrasle osobe imaju varijabilan motorički repertoar s učinkovitim rješenjem za svaku specifičnu situaciju (Hadders-Algra, 2010). Prethodno spomenute faze motoričkog razvoja zajedno s kratkim opisom prikazane su u Ilustraciji 1.

**Ilustracija 2.** Prikaz motoričkog razvoja kroz Edelmanovu teoriju selekcije neuronskih grupa (prema Hadders-Algra, 2000a)



### 3.2.1.1. Varijacija

Motorički razvoj čovjeka započinje značajnim varijacijama, kako u ranom fetalnom razdoblju, tako i tijekom dojenačke dobi (Hadders-Algra, 2000a). Tijekom prvih pola godine života, motoričko ponašanje dojenčadi karakterizira varijacija i istraživačka narav (Heineman, 2010). Teorija selekcije neuronskih grupa naglašava kako je upravo varijacija ključna riječ za tipičan motorički razvoj. Također, spomenuta teorija ističe kako razvoj počinje s primarnim neuronskim repertoarima, pri čemu se svaki repertoar sastoji od višestrukih neuronskih skupina. Stanice i povezanost primarnih repertoara su pritom određeni evolucijom. Ovaj početni period motoričkog razvoja naziva se fazom primarne varijabilnosti (Hadders-Algra, 2000a). Spontana aktivnost je primarna značajka živčanog sustava. Već u ranoj fetalnoj dobi motoričko ponašanje organizirano je pomoću aktivnosti osnovnih mreža u moždanom deblu i leđnoj moždini koja je modulirana supraspinalnom aktivnošću. Supraspinalna aktivnost, koju je najprije izazvala subplate zona te kasnije kortikalna ploča, potiče varijaciju pokreta odnosno označava početak faze primarne varijabilnosti (Hadders-Algra, 2018a). U početku, varijacije pokreta posebno služe istraživanju; njegove povezane aferentne informacije prvenstveno se koriste za oblikovanje živčanog sustava u razvoju, a manje za prilagodbu motoričkog ponašanja (Hadders-Algra, 2018a). Premda se u početku vjerovalo kako je motoričko ponašanje u ranoj dobi primitivno i zasnovano na refleksima, današnje znanstvene spoznaje ukazuju na suprotne zaključke. Tokom faze primarne varijabilnosti živčani sustav istražuje sve motoričke mogućnosti te samoproduzvedena motorička aktivnost rezultira širokim motoričkim repertoarom. Odnosno, varijacija u konačnici predstavlja veličinu repertoara motoričkog ponašanja kojim dijete raspolaže (Straathof, 2022). Varijacije u ovom periodu nisu usklađene s uvjetima okoline no ipak predstavljaju temeljni razvojni fenomen. Obilna varijacija u motilitetu potaknuta je aktivnošću epigenetski određenih supraspinalnih primarnih neuralnih repertoara. Sustav primarnih repertoara, pomoću samogenerirane aktivnosti te posljedično samogeneriranih aferentnih informacija, istražuje sve dostupne motoričke sposobnosti no unutar ograničenja uzrokovanih evolucijom (Hadders-Algra, 2000a). Prikaz svojstava varijacije vidljiv je promatranjem spontanih pokreta. Bogata varijacija, odnosno prostorna i vremenska raznolikost i složenost spontanih pokreta povezuje se sa istraživačkom aktivnošću široko rasprostranjene (sub)kortikalne mreže (Hadders-Algra, 2010).



### 3.2.1.2. Adaptabilnost

Svi oblici motoričkog ponašanja usmjerenog ka cilju počinju u ranom djetinjstvu s fazom primarne varijabilnosti. Razvoj se zatim nastavlja kroz proces selekcije na temelju aferentnih informacija (Hadders-Algra, 2010). Obilna spontana aktivnost posebno priprema živčani sustav za ispravnu i integriranu upotrebu aferentnih, perceptivnih informacija za prilagodbu motoričkog ponašanja u daljnjoj fazi motoričkog razvoja (Leighton i Lohmann, 2016). Odnosno, iskustvene aferentne informacije induciraju modifikacije u sinaptičkim vezama unutar i između neuronskih grupa što u konačnici rezultira varijabilnim sekundarnim repertoarom. Sposobnost prilagodbe motoričkog ponašanja ostvaruje se istraživanjem okoline te procesom selekcije koja se temelji na ponašanju i iskustvu dojenčeta (Straahof, 2022). Dojenče istražuje svijet oko sebe te aktivnom upotrebom metode "pokušaj-pogreška" uči prilagođavati svoje motoričko ponašanje okolini. Optimalni uvjeti za razvoj sekundarne varijabilnosti javljaju se posebno u okruženju u kojem je dojenče u interakciji s drugima i ima dovoljno mogućnosti da se uključi u iskustva pokušaja i pogreške (Straahof, 2022). Proces selekcije odgovoran je za usklađivanje motoričkih uputa sa ograničenjima neuralnih struktura i kinematike. Selekcija, kao mehanizam odabira u živčanom sustavu, je ustvari sinaptička promjena koja vodi ka selektivnom pojačanju ili pak smanjenju odgovora neuronske grupe. Navedeni proces omogućuje razlikovanje i kategorizaciju osjetnih unosa te integraciju osjetnih i motoričkih procesa s ciljem postizanja adaptivnog ponašanja (Sporns i Edelman, 1993). Spoznaje iz područja neurofiziologije ukazuju na to da bazalni gangliji imaju ulogu u selekciji motoričkih strategija (Graybiel, 2005), dok se mali mozak ističe kao ključna struktura prilikom odabira vremenskih i kvantitativnih parametara motoričkog ponašanja specifičnog za situaciju (Doyon i Benali, 2005). Razdoblje selekcije je karakterizirano velikim varijacijama - prvo se smanjuje opseg motoričkih sposobnosti i javlja se prolazna faza s umjerenim motoričkim varijacijama, čije su vrijeme javljanja i trajanje specifični za funkciju (Hadders-Algra, 2000a). Međutim, ubrzo se vraćaju obilne varijacije jer je ljudski organizam, kao i njegove grupe neurona, neprestano izložen mnoštvu iskustava. Iskustvene aferentne informacije induciraju modifikacije u snazi sinaptičkih veza unutar i između neuronskih skupina što rezultira varijabilnim sekundarnim repertoarom. Promijenjena povezanost unutar sekundarnog repertoara omogućuje odabir neuronskih skupina specifičnih za situaciju (Hadders-Algra, 2000b). Prijelaz iz faze primarne varijabilnosti u sekundarnu varijabilnost odvija se u dobi specifičnoj za funkciju. Primjerice, u razvoju posturalne

kontrole taj prijelaz događa se oko 3. mjeseca, dok se u razvoju hoda javlja između 12. i 18. mjeseca. Ipak, u periodu oko 18. mjeseca gotovo sve osnovne motoričke funkcije već su dosegle fazu sekundarne varijabilnosti (Hadders-Algra, 2018b). Konačno, istraživanje i kontinuirana obrada popratnih aferentnih informacija postupno rezultiraju odabirom najučinkovitijih obrazaca kretanja (Edelman i Tononi, 2000). Dakle, u određenom vremenskom trenutku, živčani sustav počinje koristiti aferentne informacije proizvedene ponašanjem i iskustvom za odabir motoričkog ponašanja koje najbolje odgovara situaciji: počinje faza sekundarne varijabilnosti ili adaptabilnosti. Do danas još uvijek nisu u potpunosti shvaćeni mehanizmi na kojima se temelji prijelaz s faze primarne na sekundarnu varijabilnost (Hadders-Algra, 2010). U ovoj fazi, varijacije kretanja počinje služiti prilagodbi (Hadders-Algra, 2018). Adaptabilnost se definira kao sposobnost da se iz opsežnog motoričkog repertoara odabere optimalna motorička strategija u datoj situaciji. Drugim riječima, adaptabilnost se tumači kao sposobnost odabira adaptivnih motoričkih strategija (Heineman, 2010). Sekundarni neuronski repertoari i njima pridruženi mehanizmi odabira čine osnovu zrelog varijabilnog ponašanja koje se može prilagoditi ograničenjima okoline (Hadders-Algra, 2000a). U drugoj polovici druge postnatalne godine sve osnovne motoričke funkcije, poput sisanja, posezanja, hvatanja, posturalne kontrole i lokomocije, dosegle su prve stupnjeve sekundarne varijabilnosti. Međutim, važno je naglasiti kako neuralni repertoar svoju finalnu konfiguraciju postiže tek u kasnoj adolescentskoj dobi upravo zbog interakcije samogeneriranih motoričkih aktivnosti i aferentnih informacija te dugotrajnih razvojnih procesa središnjeg živčanog sustava. Dakle, osnovni motorički repertoar kojeg obilježava obilje varijacija nastavlja se razvijati i u fazi sekundarne varijabilnosti te se kontinuirano mijenjati i nadograđivati tokom života (Hadders-Algra, 2010). Dugotrajni tijek razvoja sekundarne varijabilnosti uzrokovan je dugotrajnim razvojnim procesima u mozgu, kao što su pročišćavanje dendrita, mijelinizacija i opsežna reorganizacija sinapsi (De Graaf-Peters i Hadders-Algra, 2006.) Tekuće razvojne promjene u živčanom sustavu, koje se temelje na neprekidnoj interakciji između iskustva i genetskih informacija, omogućuju sve preciznije i složenije motoričke sposobnosti, koje se mogu smatrati usavršavanjem osnovnog, varijabilnog repertoara. Kao rezultat toga, odrasla ljudska bića opremljena su varijabilnim repertoarom pokreta s učinkovitim motoričkim rješenjem za svaku specifičnu situaciju (Hadders-Algra, 2010).

### **3.2.2. Primjena teorije selekcije neuronskih grupa na neurorazvojne motoričke poremećaje**

Prethodno je opisana primjena teorije selekcije neuronskih grupa na tipičan motorički razvoj. S druge strane, sve je veći broj znanstvenika koji ukazuju na značaj primjene ove teorije na područje različitih neurorazvojnih poremećaja. Pri tome, naglasak se stavlja na motoričke poremećaje, u prvom redu cerebralnu paralizu (CP), razvojni poremećaj koordinacije (engl. developmental coordination disorder, DCD) te minimalnu neurološku disfunkciju (engl. minor neurological dysfunction, MND) (Hadders-Algra, 2001a).

Ideja proširenja teorije selekcije neuronskih grupa i na domenu neurorazvojnih poremećaja ima dvostruku ulogu:

- 1) ostvariti nove uvide u mehanizme koji su u pozadini neurorazvojnih poremećaja,
- 2) potaknuti razvoj inovativnih i učinkovitih metoda i terapija za neurorazvojne poremećaje (Hadders-Algra, 2000).

#### **Novi uvidi u mehanizme koji su u pozadini neurorazvojnih poremećaja**

Razvojne promjene u mladom mozgu uvelike utječu na manifestiranje atipičnog motoričkog ponašanja. Varijacija u motoričkom ponašanju osnovna je karakteristika razvoja zdravog živčanog sustava, dok se stereotipije vežu uz rane disfunkcije mozga. Oskudna varijacija temelji se na strukturnim anomalijama, pri čemu poremećaji kortikalne povezanosti mogu imati značajnu ulogu. Nasuprot tome, ograničenja u adaptabilnosti prisutna su kod gotovo sve djece s atipičnim motoričkim razvojem. Ograničena adaptabilnost temelji se na ograničenoj sposobnosti odabira strategije iz motoričkog repertoara zbog poteškoća u procesuiranju osjetnih informacija uzrokovanih samogeneriranim motoričkim ponašanjem (Hadders-Algra, 2010).

Klinički i patofiziološki podaci ukazuju na to da djeca s prenatalno ili perinatalno stečenim lezijama mozga nemaju ili imaju vrlo malo funkcionalno relevantne aktivnosti u primarnim (sub)kortikalnim neuronskim mrežama koje također obilježava i smanjen repertoar motoričkih strategija. Upravo zbog toga, prema teoriji selekcije neuronskih grupa, motoričko ponašanje djece s ovim oblicima neurorazvojnih poremećaja obilježeno je smanjenom varijabilnošću te povećanim stereotipnim motoričkim ponašanjem, odnosno smanjenom varijacijom u obje faze varijabilnosti.

Smanjena varijacija vidljiva je već u ranom djetinjstvu, odnosno čak prije dobi u kojoj se može utvrditi konačan tip i težina kliničke slike cerebralne paralize (Heineman, 2010). Ukoliko navedeno sagledamo u fazi spontanog motiliteta, smanjene varijacije u motoričkom ponašanju jasno se očituju smanjenom kvalitetom spontanih pokreta. Odnosno, abnormalne spontane pokrete obilježava ograničena složenost, ali i varijacija. Iako je smanjena varijabilnost vidljiva prvotno u obliku abnormalnih spontanih pokreta ona ostaje prisutna i tijekom pokretanja usmjerenog ka cilju. Stupanj do kojega je smanjena varijacija pokreta izravno je povezan sa stupnjem oštećenja kortikalne povezanosti (Hadders-Algra, 2005). Prethodno spomenut ograničen repertoar motoričkih strategija implicira na nedostatak specifične motoričke strategije, odnosno optimalnog motoričkog odgovora na određenu situaciju. Upravo zato postoji mogućnost da će dijete s ranom lezijom mozga potencijalno odabrati motoričko ponašanje koje ne odabiru djeca tipičnog razvoja (van der Heide i sur., 2005). Osim toga, poteškoće se javljaju i u fazi sekundarne varijabilnosti. Točnije, za djecu s ranom lezijom mozga karakterističan je otežan adaptivni odabir optimalnih motoričkih strategija u određenoj situaciji. Ovaj nedostatak varijabilnosti povezuje se s prethodno opisanim smanjenim repertoarom motoričkih strategija, ali i poteškoćama u obradi različitih oblika aferentnih informacija. Spomenute osjetne poteškoće povezuju se sa otežanim odabirom učinkovitih neuronskih mreža, primarno s obzirom na to da ovise o iskustvu. Premda djeca s cerebralnom paralizom razvijaju sekundarne neuronske repertoare, to nerijetko čine u smanjenom obliku ili sporijim tempom. S obzirom na to da se selekcija uvelike oslanja na aferentne povratne informacije, manifestiraju se različite poteškoće u adaptivnom odabiru (Hadders-Algra, 2001b). S druge strane, minimalnu neurološku disfunkciju te razvojni poremećaj koordinacije karakterizira gotovo tipičan razvoj u fazama primarne varijabilnosti i selekcije. Međutim, poteškoće se kod ovih poremećaja ipak javljaju u fazi sekundarne varijabilnosti, odnosno adaptabilnosti. Nemogućnost odabira adekvatnog motoričkog ponašanja u specifičnoj situaciji povezuje se primarno s nedostatkom iskustva (Hadders-Algra, 2000b).

## **Razvoj intervencijskih strategija, metoda i terapija za neurorazvojne poremećaje**

Prema teoriji selekcije neuronskih grupa, rana lezija mozga rezultira smanjenjem neuronskih repertoara te otežanim procesom adaptabilnosti. Stoga, intervencijske strategije za djecu s neurorazvojnim motoričkim poremećajima trebaju se fokusirati na pružanje različitih senzomotoričkih iskustava. Primjerice, u dojenačkom periodu to bi se odnosilo na upotrebu i izmjenu različitih položaja tijela, koji se pritom suprotstavljaju potencijalnom stereotipnom motoričkom ponašanju. Nadalje, s porastom dobi naglasak se stavlja na osiguravanje prilika za stjecanje što većeg broja aktivnih iskustava, s obzirom na to da bi upravo samogenerirana motorička ponašanja potencijalno kompenzirala poteškoće s adaptivnom selekcijom. S obzirom na to da je istraživačka narav motoričkog ponašanja ključna karakteristika živčanog sustava u razvoju, a djeca s ranim lezijama mozga pokazuju smanjen istraživački opseg, nužno je omogućiti im što više aktivnog sudjelovanja, kroz osiguravanje stimulirajuće okoline i adekvatne motivacije (Hadders-Algra, 2010). Različita oštećenja mozga u ranoj dobi praćena su značajnim promjenama u plastičnosti koje pridonose funkcionalnom oporavku. Prethodno spomenute promjene variraju ovisno o dobi, vremenu nastanka i veličini lezije. Primjerice, ukoliko je lezija mala i javlja se nakon završetka migracije neurona očekuje se pozitivan utjecaj neuroplastičnosti, a samim time i značajan oporavak. Prema Edelmanovoj teoriji, plastičnost se odnosi na činjenicu da se neuroni koji su u okolini oštećenja, odnosno smanjenog primarnog neuronskog repertoara, mijenjaju svoju funkciju te se ugrađuju u zahvaćeni repertoar. Navedeno rezultira manje reduciranim primarnim repertoarom, odnosno oporavkom funkcije zahvaćene lezijom (Kolb, 1995). Kao što je već spomenuto, upravo je plastičnost mozga temeljna značajka od koje polazi rana intervencija, odnosno rana razvojna podrška. Točnije, jedan od ciljeva rane intervencije nakon rane lezije mozga trebao bi biti povećanje primarnih neuronskih repertoara, kroz osiguravanje različitih senzomotoričkih iskustava za dijete. Iskustvo će se pritom najbolje stjecati kroz istraživanje okoline te metodu pokušaja i pogreške. Osim toga, treba se staviti naglasak na olakšavanje procesa selekcije kroz znatno veći broj ponavljanja motoričkih ponašanja te aktivnu ulogu djeteta (Hadders-Algra, 2000b). Kao jedan od primjera primjene teorije selekcije neuronskih grupa na kreiranje intervencije u Republici Hrvatskoj ističe se Poliklinika za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Stojčević Polovina (Polovina i sur., 2010).

#### **4. Značaj procjene varijacije i adaptabilnosti motoričkog ponašanja u ranoj razvojnoj dobi**

Tijekom posljednjih desetljeća sve veće stope preživljavanja nedonoščadi i visokorizične dojenčadi postaju razlogom za rastuću zabrinutost u vezi s njihovim neurorazvojnim ishodom. Stoga rana detekcija različitih oblika neurorazvojnih poremećaja postaje jedan od najvećih izazova u razvojnoj neurologiji. Uz to, znanstveno je dokazano kako je intervencija učinkovitija ukoliko se započne tijekom ranog djetinjstva, kada je plastičnost mozga na najvišoj razini (Spittle i sur., 2015). Premda je uobičajeno da su standardizirani programi praćenja ključni za ranu detekciju, s druge strane identifikacija pravih dijagnostičkih instrumenata još uvijek predstavlja predmet rasprave (Rizzi i sur., 2021). S obzirom da se neuromotorička funkcija u dojenačkoj dobi može procijeniti na različite načine, kliničarima na raspolaganju stoji čitav niz različitih instrumenata procjene. Poteškoće u predviđanju neurorazvojnog ishoda kod dojenčadi odražavaju se u različitim tehnikama dostupnim za procjenu središnjeg živčanog sustava u ranoj dobi. Tehnike variraju od kliničkih metoda koje ne zahtijevaju nikakvu opremu, kao što su različiti oblici neuroloških pregleda, do manje ili više sofisticiranih tehničkih postupaka, kao što su snimanje mozga (ultrazvuk, magnetska rezonancija i kompjutorska tomografija) te različiti neurofiziološki testovi. Brojna istraživanja potvrđuju kako su prijevremeno rođena djeca izložena većem riziku za razvoj motoričkih poremećaja poput cerebralne paralize i razvojnog poremećaja koordinacije. S ciljem otkrivanja potencijalnih korisnika usluga rane intervencije, kliničari poput edukacijskih rehabilitatora, fizioterapeuta, pedijatar te neurologa koriste instrumente procjene neuromotoričkih funkcija u dojenačkoj dobi (Heineman i Hadders-Algra, 2008).

Procjena neuromotoričke funkcije u ranom razvoju ima tri ključna cilja:

1. diskriminacija,
2. predikcija,
3. evaluacija (Hadders-Algra, 2010).

Ponajprije, procjena ima za cilj definirati trenutačne sposobnosti, ali i ograničenja neuromotoričkog razvoja djeteta. Diskriminacija, u okviru rane neuromotoričke procjene, podrazumijeva razlikovanje djece tipičnog razvoja te djece koja iskazuju određena neuromotorička odstupanja. Odnosno, diskriminacijom se utvrđuje razlika između tipičnog i atipičnog neuromotoričkog ponašanja. Osim toga, identificiraju se ona djeca za koju je potrebno sustavno

praćenje te koja bi imala potencijalne benefite od uključivanja u programe rane intervencije (Heineman i Hadders-Algra, 2008), a upravo uključivanje u rano interventne programe osigurava pružanje intervencije u dobi kada je plastičnost živčanog sustava vrlo visoka (Heineman, 2010). Kako bi to bilo moguće, od neizmjerne je važnosti da tehnike namijenjene za procjenu budu adekvatno prilagođene dobnim specifičnostima središnjeg živčanog sustava. S obzirom da procjena služi kao osnova za terapiju, ovaj cilj izdvaja se kao ključan. Međutim, procjena u ranoj razvojnoj dobi također može pomoći i u predviđanju razvojnog ishoda dojenčeta. Dakle, mjerni instrumenti validirani za predikciju koriste se kao dijagnostičko sredstvo za predviđanje razvojnog ishoda, odnosno ukazuju na vjerojatnost za tipičan razvojni ishod ili pak razvoj određenog neurorazvojnog poremećaja. Svakako, važno je naglasiti kako razvojne karakteristike SŽS-a onemogućuju u potpunosti precizno predviđanje (Hadders-Algra, 2010).

Konačno, cilj primjene mjernog instrumenta može biti i evaluacija. Pod pojmom evaluacije obuhvaćamo različita vrednovanja, odnosno mjerenje longitudinalne promjene pojedinca ili skupine tijekom vremena. Primjerice, vrednuju se promjene motoričkih funkcija u dojenčadi uključene u programe rane intervencije (Heineman i Hadders-Algra, 2008).

Prema Katušić (2020), kvalitativni i kvantitativni aspekti ranog motoričkog ponašanja dojenčeta ukazuju na potencijalna neurološka odstupanja. Tradicionalno se u okviru neuromotoričkih procjena veliki naglasak stavljao na kvantitativne aspekte motoričkog razvoja, ponajprije u smislu dostizanja motoričkih prekretnica. Primjerice, jedan od važnih aspekata procjene predstavljala je dob u kojoj dojenčad postiže određene motoričke vještine kao što su sjedenje ili hodanje (Hadders-Algra, 2010). Međutim, novi pristup metodologiji rane neurološke procjene, temeljen na najnovijim spoznajama o svojstvima neuralnih funkcija, može biti optimalna nadopuna u procjeni mladog živčanog sustava (Prechtl, 2001). Konačno je postalo jasno da drugi aspekti motoričkog ponašanja, kao što su veličina motoričkog repertoara (varijacija) te sposobnost odabira iz repertoara (adaptabilnost), također mogu biti valjani prediktori razvojnog ishoda (Hadders-Algra, 2010). Nadalje, sve veći broj istraživanja potvrđuje kako instrumenti za procjenu kvalitete motoričkog ponašanja mogu pružiti suptilnije informacije o funkcioniranju središnjeg živčanog sustava od tradicionalne neurološke procjene (Heineman i Hadders-Algra, 2008). Novije informacije upućuju na to da kvalitativna procjena, s naglaskom na varijabilnost ranog motoričkog ponašanja, odražava funkcionalni integritet središnjeg živčanog sustava na sveobuhvatniji način.

Odnosno, kvalitativne procjene smatraju se korisnima za prepoznavanje ranih znakova neuroloških disfunkcija te za predikciju razvojnog ishoda (Rizzi i sur., 2021).

Sve veća svijest o tome da kvaliteta motoričkog ponašanja zaista može pomoći u evaluaciji djetetovog neuromotoričkog razvoja rezultirala je pojavom tri relativno nove metode procjene - Test of Infant Motor Performance (TIMP), General Movement Assessment (GMA) te Motorički profil dojenčeta (engl. Infant Motor Profile). Prve dvije metode procjene primjenjive su do dobi od četiri mjeseca nakon poroda, dok je Motorički profil dojenčeta namijenjen za upotrebu sve do osamnaestog mjeseca. Test of Infant Motor Performance se razlikuje od druge dvije metode s obzirom na to da ne polazi od varijacije i adaptabilnosti kao eksplicitnih parametara kvalitete pokreta (Hadders-Algra, 2001b).

Ova dva ključna elementa kvalitativne procjene od iznimne su važnosti za za detekciju neurorizične dojenčadi i predikciju neurorazvojnog ishoda dojenčadi. Varijacija odnosno procjena veličine repertoara je parametar procjene koji se može primijeniti u fazi primarne i sekundarne varijabilnosti. Nasuprot tome, varijabilnost ili sposobnost prilagođavanja je posebno važna od pojave sekundarne varijabilnosti nadalje (Hadders-Algra, 2010).

Procjena spontanih pokreta je pouzdani postupak koji služi za ispitivanje kvalitete spontanih pokreta, a temelji se na na standardiziranoj kvalitativnoj analizi spontanog motoričkog repertoara dojenčeta u fazi primarne varijabilnosti (Rizzi i sur., 2021) i ne uključuje procjenu adaptabilnosti (Hadders-Algra, 2000a). Prechtl, jedan od pionira u području ranog neurološkog razvoja, godinama je proučavao motoričku aktivnost ljudskog fetusa i dojenčeta te je prepoznao važnost spontanog motoričkog ponašanja u ranom razvojnem periodu. Uz to, utvrdio je da kvaliteta spontane pokretljivosti, posebno kvaliteta spontanih pokreta odražava stanje živčanog sustava fetusa i dojenčeta (Hadders-Algra, 2001b). Više istraživanja potvrdilo je visoku prediktivnu vrijednost normalnih (optimalnih i suboptimalnih) spontanih pokreta u odnosu na kasniji povoljan neurorazvojni ishod. Odnosno, dok novorođenčad koja ima normalne spontane pokrete kasnije pokazuje tipičan neurorazvojni ishod, čak više od 70% novorođenčadi s definitivno abnormalnim spontanim pokretima u starijoj dobi ima dijagnosticirano određeno neurorazvojno odstupanje (Mejaški-Bošnjak, 2008). Hadders-Algra (2018a) ističe kako su spontani pokreti glavni izraz mladog mozga u razvoju. Uz to, ista autorica tvrdi kako kvaliteta spontanih pokreta odražava cjelovitost složenih kortikalno-subkortikalnih mreža. Predviđanje razvojnog ishoda optimalno je u fazi vrpoljenja, kada se kortikalna aktivnost u primarnom senzomotoričkom korteksu pomiče sa



subplate zone na kortikalnu ploču. Upravo u spomenutom razdoblju procjena dobno specifičnih pokreta vrpoljenja olakšava predikciju neurorazvojnog ishoda, pri čemu odsustvo pokreta vrpoljenja ima visoku prediktivnu vrijednost za razvoj cerebralne paralize (Hadders-Algra, 2018a). Spontani pokreti javljaju se već u ranom prenatalnom periodu te pokazuju karakteristike ovisne o dobi. Međutim, u dobi od otprilike četiri mjeseca spontani pokreti postupno nestaju te ovaj oblik procjene više nije moguće provesti. Iz tog razloga potrebni su drugi standardizirani alati za procjenu koji će omogućiti uvid, ne samo u prisutnost specifičnih neuroloških znakova, već i u kvalitetu i varijabilnost motoričkog ponašanja (Hadders-Algra, 2010). Kvalitativna procjena spontanih pokreta pokazala se boljim prediktorom neurološkog ishoda od tradicionalnog neurološkog pregleda nedonoščadi s oštećenjem mozga (Cioni i sur., 1997). Instrumenti koji procjenjuju kvalitativne aspekte motoričkog ponašanja, poput procjene spontanih pokreta i Test of Infant Motor Performance, svakako daju najveći potencijal za predikciju budućeg razvojnog ishoda. Ipak, navedene metode prikladne su isključivo za dojenčadi do dobi od četiri mjeseca. Upravo zbog potrebe za standardiziranim alatom za procjenu koji će omogućiti uvid ne samo u prisutnost specifičnih neuroloških znakova već i u kvalitetu i varijabilnost motoričkog ponašanja, autorice Heineman i Hadders-Algra razvijaju Motorički profil dojenčeta (Heineman i Hadders-Algra, 2008).

#### **4.1. Motorički profil dojenčeta**

S vremenom su europski kliničari koji rade na području razvojne neurologije shvatili da varijacija i adaptabilnost mogu pomoći u evaluaciji motoričkog razvoja. Upravo na idejama Edelmanove teorije selekcije neuronskih grupa, koja uključuje varijaciju i adaptabilnost kao ključne elemente motoričkog ponašanja dojenčadi, počiva novi instrument za procjenu neuromotoričkog razvoja - Motorički profil dojenčeta (engl. Infant Motor Profile, IMP) (Hadders-Algra, 2010).

Ideja za razvoj Motoričkog profila dojenčeta proizlazi iz potrebe za preciznim promatranjem i analizom spontanog motoričkog ponašanja dojenčadi. Prvotno je instrument predviđen za procjenu djece u dobi od tri mjeseca do dvije godine života. Koristila se precizna analiza snimki dojenčadi s visokim rizikom za razvoj motoričkih poremećaja koja je u konačnici i osigurala razlikovanje pojedinih varijabli motoričkog ponašanja među dojenčadi tipičnog razvoja te dojenčadi s

potencijalnim rizikom. Teorija selekcije neuronskih grupa služila je kao polazišna točka te omogućila klasifikaciju promatranih varijabli u različite domene te definiranje stavki unutar tih domena. Kako bi motorički profil dojenčadi dosegao svoj današnji oblik, proveden je čitav niz evaluacija stavki detaljnom analizom i usporedbom videozapisa heterogenih skupina dojenčadi (Heineman, 2010). Autori navode kako je ova procjena u svom današnjem obliku predviđena za upotrebu u dobi između tri i osamnaest mjeseci. Ipak, ta granica nije striktna, već je procjena pogodna za primjenu do vremena u kojem je dijete steklo već nekoliko mjeseci iskustva u samostalnom hodanju. Osim toga, za djecu koja manifestiraju umjerene do teške motoričke poremećaje, primjena je moguća i nakon navršenih osamnaest mjeseci (Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2008).

Specifičnost ove metode procjene jest upravo to da se ona temelji na analizi videozapisa. Videozapisi obuhvaćaju djetetovu motoričku aktivnost u trajanju od otprilike petnaest minuta, koja je spontana ili pak potaknuta prezentacijom zanimljivih predmeta. Motoričko ponašanje se vrednuje u pronaciji, supinaciji, u sjedećem položaju, prilikom stajanja i hoda, ovisno o dobi djeteta. Osim toga, analizira se i dohvatanje, hvatanje te manipulacija predmetima dok dijete leži ili sjedi u krilu roditelja. Ova procjena ne uključuje samo informacije o motoričkim postignućima djeteta, već i o načinu na koji dijete dolazi do tih postignuća. Redoslijed procjene nije strogo određen te ovisi o više čimbenika poput dobi, interesa, raspoloženja i funkcionalnih sposobnosti djeteta. U praksi, kod mlađe dojenčadi započinje se promatranjem ponašanja u ležećem položaju, dok se kod starije djece češće započinje s procjenom u sjedećem položaju, bilo to samostalno ili u krilu roditelja (Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2008). Za provođenje procjene potrebno je malo opreme: tanki madrac na podu, video kamera na tronošcu, mali stol ili stolac, igračke (lopte, koluti, autići, lutke...) te stolac za roditelja (Tveten i sur., 2020).

Motorički profil dojenčeta se sastoji od osamdeset čestica, koje pružaju informacije o motoričkom ponašanju dojenčeta, raspoređenih u pet domena. Domene procjene motoričkog ponašanja su: varijacija, adaptabilnost, fluentnost, simetrija te motorička izvedba. Prve dvije domene temelje se na idejama Edelmanove teorije selekcije neuronskih grupa. Varijacija se odnosi na veličinu motoričkog repertoara i obuhvaća 25 čestica. Adaptabilnost se pak odnosi na sposobnost odabira adaptivnih motoričkih strategija i procjenjuje 15 čestica. Preostale tri domene predstavljaju tradicionalne aspekte procjene motoričkog ponašanja. Domena fluentnosti sadrži 7 čestica koje procjenjuju sposobnost dojenčeta da prilagodi i fino ugađa vlastite pokrete. Domena simetrije kroz

procjenu 10 čestica istražuje prisutnost stereotipnih asimetričnih pokreta. Posljednja, domena izvedbe u 23 čestice vrednuje motorička postignuća dojenčeta (Heineman, 2010).

Ovakav oblik procjene objedinjuje kvalitativne i kvantitativne aspekte motoričkog ponašanja. Odnosno, čestice procjene razvrstane su u domene pri čemu prve četiri domene procjenjuju kvalitetu motoričkog ponašanja, dok posljednja domena predstavlja kvantitativnu domenu, a procjenjuje izvedbu motoričkog ponašanja. Svaka se domena boduje zasebno, ali uz to vrednuje se i ukupni rezultat. Sama procjena traje otprilike petnaest minuta, dok još dodatno bodovanje traje oko deset minuta (Machado i sur., 2022). Rezultati na pojedinim domenama izračunavaju se u obliku postotka maksimalnog rezultata po domeni. Ukupan rezultat izračunava se kao srednja vrijednost rezultata svih pet domena. Ipak, kod dojenčadi u dobi do šest mjeseci domena adaptabilnosti ne uzima se u obzir pri izračunu ukupnog rezultata, s obzirom na to da se za većinu motoričkih funkcija adaptabilnost razvija tek nakon navršenih šest mjeseci. Osnovna smjernica prilikom izračuna rezultata jest da se u obzir uzimaju samo stavke koje odražavaju promatrano motoričko ponašanje. Primjerice, stavku o varijabilnosti pokreta nogu tijekom samostalnog hodanja bodujemo samo ukoliko dijete doista može samostalno hodati. Ukoliko tome nije slučaj, navedena stavka ne uzima se u obzir prilikom izračuna rezultata u toj domeni. Iznimka od ovog pravila su stavke u domeni motoričke izvedbe, koje se uvijek mogu bodovati. Dakle, u prethodno navedenom primjeru, ukoliko dijete ne hoda stavka stajanja i hodanja boduje sa s jednim bodom u značenju "ne može hodati" (Heineman, 2010).

#### **4.1.1. Prediktivna vrijednost**

S obzirom na specifičnosti središnjeg živčanog sustava koji je još uvijek u razvoju, javljaju se izazovi u predviđanju razvojnih ishoda tijekom ranog djetinjstva. Razvojni procesi središnjeg živčanog sustava potiču promjene u neurorazvojnoj izvedbi. Stalne i progresivne promjene koje se događaju u SŽS tijekom dojenčadi i ranog djetinjstva mogu rezultirati nestankom početnih znakova disfunkcije. S druge strane, također je moguće da djeca, koja su bez vidljivih znakova disfunkcije u ranoj dobi, mogu s vremenom početi iskazivati funkcionalne deficite, zbog rastuće složenosti živčanih funkcija koja je usko povezana s dobi (Vohr i Coll, 1985). Kao jedna od najznačajnijih metrijskih karakteristika Motoričkog profila dojenčeta izdvaja se visoka prediktivna valjanost, koju definiramo kao mjeru uspješnosti za predikciju budućeg ponašanja ili predikciju

rezultata na nekoj drugoj kriterijskoj varijabli (Milas, 2005). Prediktivna, odnosno prognostička vrijednost mjernog instrumenta je od ključnog značaja s obzirom da rana identifikacija djece s potencijalnim rizikom za razvoj neurorazvojnog poremećaja omogućuje pristup ranoj intervenciji (Rizzi i sur., 2021). Ipak, valja naglasiti kako se prediktivna vrijednost povećava kombinacijom različitih izvora informacija i mjernih instrumenata (Heineman i Hadders-Algra, 2008) te longitudinalnim provođenjem ispitivanja (Darrah, Senthiselvan i Magill-Evans, 2009). Valja naglasiti kako je, zbog same specifičnosti ljudskog živčanog sustava, predikcija uvijek izazovan zadatak. Daljnja klinička istraživanja i znanstveni rad mogu pridonijeti većoj sposobnosti predviđanja i samim time osigurati i raniju, bržu i bolju dijagnostiku i tretman neurorazvojnih poremećaja (Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2011).

Niz istraživanja potvrđuje visoku prediktivnu vrijednost Motoričkog profila dojenčeta, posebno u okviru domena varijacije i adaptabilnosti (Heineman i sur., 2018; Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2011; Rizzi i sur., 2021; Straathof i sur., 2022). Pri tome se najčešće ističe visoka prediktivna vrijednost za kognitivni ishod, predikciju cerebralne paralize te dugoročni i kratkoročni neurorazvojni ishod neurorizične dojenčadi.

### **Prediktivna vrijednost za kognitivni ishod**

Sve više istraživanja potvrđuje povezanost motoričkog i kognitivnog razvoja. Taj međuodnos motoričkog i kognitivnog razvoja dovodi do pitanja je li rani motorički razvoj povezan s kasnijim kvocijentom inteligencije te ukoliko jest, koje su specifične motoričke domene uključene u spomenutu povezanost. Istraživanje autorice Heineman i suradnika iz 2018. godine nastoji ukazati na povezanost ranog motoričkog razvoja s kognitivnim funkcijama u dobi od četiri godine. Motoričko ponašanje procijenjeno je Motoričkim profilom dojenčeta, dok je kognitivni razvoj procijenjen je drugim izdanjem Kaufmanove baterije procjena za djecu u dobi od četiri godine. Ukupni rezultati na Motoričkom profilu dojenčeta bili su pozitivno povezani s kasnijom kognitivnom funkcijom te su pokazivali značajnu razliku. S obzirom na domene procjene, varijacija je jedna od domena s vrlo jasnom povezanošću s kognitivnim ishodom. Viši rezultati u domeni adaptabilnost nakon desetog mjeseca povezuju se s boljim kognitivnim ishodom no ne i nakon osamnaestog mjeseca. Autori pretpostavljaju kako se adaptabilnost uvelike oslanja na neuronske mreže koje su također uključene i u kognitivne zadatke te da to ukazuje na jasnu povezanost dobivenih rezultata. S druge strane, ne postojanje povezanosti u dobi od osamnaest

mjeseci objašnjavaju činjenicom da većina dojenčadi tipičnog razvoja već postiže maksimalnu ocjenu u domeni adaptabilnosti. Najizraženija povezanost utvrđena je između domene izvedbe i kasnijeg kvocijenta inteligencije, dok preostale dvije domene (fluentnost i simetrija) nisu dosljedno povezane s kasnijim kognitivnim ishodom. Ovo istraživanje ukazuje na jasnu povezanost između motoričkog razvoja u ranom djetinjstvu i kognitivnog ishoda kod djece rođene iz potpomgnute oplodnje (Heineman, Schedelaar, Van den Heuvel i Hadders-Algra, 2018).

### **Prediktivna vrijednost za razvoj cerebralne paralize**

Kako bi utvrdili prediktivnu vrijednost Motoričkog profila dojenčeta za razvoj cerebralne paralize, autorice Heineman, Bos i Hadders-Algra (2011) provele su istraživanje na uzorku od 30 novorođenčadi te 59 nedonoščadi. Rezultati su pokazali kako je prediktivna vrijednost za razvoj cerebralne paralize u dojenačkoj dobi vrlo visoka, pri čemu se najizraženiji rezultati zapažaju u domeni varijacije i izvedbe. Sukladno teoriji selekcije neuronskih grupa, rana lezija mozga dovodi do smanjene varijacije motoričkog ponašanja, s čime se slažu i rezultati ovog istraživanja. Odnosno, dokazano je kako domena varijacije može biti snažan pokazatelj za potencijalne neurorazvojne poremećaje poput cerebralne paralize. Domena izvedbe može se smatrati neto rezultatom motoričkog repertoara dojenčeta, sposobnosti odabira te iskustva. Dakle, i ova domena se također u velikoj mjeri oslanja na integritet živčanog sustava te ukazuje na mogući neurorazvojni poremećaj. Preostale tri domene (adaptabilnost, simetrija i fluentnost) također su bile povezane s razvojem cerebralne paralize no manje snažno. Odnosno, djeca s cerebralnom paralizom pokazala su niže rezultate i u okviru ovih domena no sposobnost predikcije kroz ove domene pokazala se umjerenom do dobrom. Zaključno, rezultati dobiveni na Motoričkom profilu dojenčeta i razvojni ishod u obliku cerebralne paralize nakon osamnaestog mjeseca života snažno su povezani. Posebno se ističu domena varijacije te izvedbe, stoga autori sugeriraju kako bi upravo ovi aspekti motoričkog ponašanja mogli biti važni pokazatelji za razvoj neurorazvojnih poremećaja (Heineman, Bos i Hadders-Algra, 2011).

### **Prediktivna vrijednost za neurorazvojni ishod neurorizične dojenčadi**

Rizzi i suradnici svojim istraživanjem iz 2021. godine nastojali su utvrditi uspješnost kratkoročne predikcije neurorazvojnog ishoda u populaciji dojenčadi s povećanim rizikom za razvoj neurorazvojnih poremećaja. Dok je za rani motorički razvoj korišten Motorički profil dojenčeta, u

dobi od osamnaest mjeseci provedena je klinička procjena neurologa. Ukupni rezultat na Motoričkom profilu dojenčeta nakon pet mjeseci pokazao je vrlo značajan odnos s neurorazvojnim ishodom - dojenčad tipičnog razvoja ostvarila je značajno viši rezultat od dojenčadi s dijagnozom neurorazvojnog poremećaja. Nadalje, potvrđeno je da su domene varijacija, simetrija i izvedba također u vrlo visokoj pozitivnoj korelaciji s neurorazvojnim ishodom. Kao glavni zaključak ovog istraživanja navodi se jasna povezanost između ranog motoričkog razvoja procijenjenog Motoričkim profilom dojenčeta i neurorazvojnog ishoda. Odnosno, ove spoznaje podupiru ideju da u ranim fazama razvoju kvalitativni aspekti motoričkog ponašanja mogu odražavati složenost cerebralne povezanosti te u konačnici biti snažan pokazatelj buduće dijagnoze neurorazvojnog poremećaja (Rizzi i sur., 2021).

Također, Straathof i suradnici (2022) proveli su longitudinalno istraživanje s ciljem utvrđivanja povezanosti između motoričkog ponašanja u dojenačkoj dobi te funkcionalnog i kognitivnog ishoda u školskoj dobi kod visoko rizične djece (uglavnom s lezijom mozga). Konačno, utvrđeno je kako je viši rezultat u okviru Motoričkog profila dojenčeta, posebno kroz domene varijacije i izvedbe, jasno povezan s boljim funkcionalnim ishodom u školskoj dobi. S druge strane, preostale domene pokazale su tek manju povezanost s kognitivnim ishodom u školskoj dobi. Odnosno, razvojne promjene u varijacijama su jedine jasno povezane s kognitivnim ishodom u školskoj dobi. Nije pronađena značajna povezanost između adaptabilnosti i ishoda u školskoj dobi. S obzirom na suprotne rezultate dosadašnjih istraživanja, autori zaključuju kako postoji mogućnost da su navedeni rezultati proizašli upravo iz činjenice da su sudionici bili redom visokorizična dojenčad. Kao glavni zaključak ovog istraživanja ističe se činjenica da je Motorički profil dojenčeta adekvatan instrument za praćenje razvojnog napretka i predikciju neurorazvojnog ishoda u visokorizične dojenčadi s posebnim naglaskom na domeni varijacije (Straathof i sur., 2022).

## 5. Zaključak

Razumijevanje razvojnih procesa u ranom razvojnom periodu od neizmjerne je važnosti, posebno kada govorimo o neurorizičnoj dojenčadi. Kontinuirane razvojne promjene tijekom prve dvije godine života uzrokuju niz promjena u motoričkom ponašanju čovjeka, što otvara mogućnost za praćenje i rano otkrivanje razvojnih odstupanja. Rana detekcija je od iznimne važnosti s obzirom da osigurava pristup ranoj intervenciji u dobi kada je plastičnost živčanog sustava najveća, a samim time i dojenčad ima najviše benefita od uključivanja u programe rane intervencije upravo u ovom periodu.

Sukladno razvojnim procesima, procjene neuromotoričkog razvoja trebaju biti prilagođene dobno specifičnim svojstvima mozga u razvoju. U okviru neuromotoričkih procjena tradicionalno je veći naglasak bio na kvantitativnim aspektima motoričkog ponašanja, poput dostizanja razvojnih miljokaza. Ipak, danas je postalo jasno kako je procjena kvalitativnih aspekata također važan alat u predviđanju neurorazvojnog ishoda. Kao ključni elementi kvalitativne procjene, prema teoriji selekcije neuronskih grupa, izdvajaju se varijacija, veličina motoričkog repertoara, te adaptabilnost, sposobnost odabira adekvatnih motoričkih strategija. Dakle, tijekom faze primarne varijabilnosti neuralni sustavi specifični za određene funkcije istražuju sve motoričke mogućnosti dostupne za tu određenu funkciju. Istraživanje i kontinuirana obrada popratnih aferentnih informacija postupno rezultira odabirom najučinkovitijih obrazaca kretanja. Upravo na spomenutim elementima motoričkog razvoja čovjeka počiva Motorički profil dojenčeta, pouzdan i valjan instrument za procjenu neuromotoričkog razvoja u dojenačkoj dobi. Ovaj instrument ispituje kompleksnost motoričkog ponašanja dojenčadi te objedinjuje kvalitativne i kvantitativne aspekte motoričkog ponašanja, ispitujući varijacije i adaptabilnost te tri tradicionalne domene procjene (simetrija, fluentnost, motorička izvedba). Ukupan rezultat ove procjene jasno odražava neurološki integritet u dojenačkoj dobi. Niz istraživanja potvrđuje vrijednost Motoričkog profila dojenčeta te ukazuje na to da je ona adekvatan instrument procjene za praćenje razvojnog napretka i predikciju neurorazvojnog ishoda.

## 6. Literatura

1. Adolph, K. E., i Franchak, J. M. (2017). The development of motor behavior. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 8(1-2), 10.1002/wcs.1430.  
<https://doi.org/10.1002/wcs.1430>
2. Adolph, K. E., i Hoch, J. E. (2019). Motor development: Embodied, embedded, enculturated, and enabling. *Annual review of psychology*, 70, 141-164.
3. Blauw-Hospers, C. H., i Hadders-Algra, M. (2005). A systematic review of the effects of early intervention on motor development. *Developmental medicine and child neurology*, 47(6), 421-432. <https://doi.org/10.1017/s0012162205000824>
4. Bobić Rasonja, M., Orešković, D., Knezović, V., Pogledić, I., Pupačić, D., Vukšić, M., ... i Jovanov Milošević, N. (2019). Histological and MRI study of the development of the human indusium griseum. *Cerebral Cortex*, 29(11), 4709-4724.
5. Bystron, I., Blakemore, C., i Rakic, P. (2008). Development of the human cerebral cortex: Boulder Committee revisited. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), 110-122.
6. Cioni, G., Ferrari, F., Einspieler, C., Paolicelli, P. B., Barbani, T., i Prechtl, H. F. (1997). Comparison between observation of spontaneous movements and neurologic examination in preterm infants. *The Journal of pediatrics*, 130(5), 704-711.
7. Darrah, J., Senthilselvan, A., i Magill-Evans, J. (2009). Trajectories of serial motor scores of typically developing children: Implications for clinical decision making. *Infant behavior & development*, 32(1), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2008.10.001>
8. de Graaf-Peters, V. B., i Hadders-Algra, M. (2006). Ontogeny of the human central nervous system: what is happening when?. *Early human development*, 82(4), 257-266.
9. de Vries, J. I., Visser, G. H., i Prechtl, H. F. (1982). The emergence of fetal behaviour. I. Qualitative aspects. *Early human development*, 7(4), 301-322.  
[https://doi.org/10.1016/0378-3782\(82\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0378-3782(82)90033-0)
10. de Vries, J. I., Visser, G. H., i Prechtl, H. F. (1985). The emergence of fetal behaviour. II. Quantitative aspects. *Early human development*, 12(2), 99–120.  
[https://doi.org/10.1016/0378-3782\(85\)90174-4](https://doi.org/10.1016/0378-3782(85)90174-4)
11. Doyon, J., i Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current opinion in neurobiology*, 15(2), 161-167.



12. Edelman, G. M., i Tononi, G. (2000). Reentry and the dynamic core: neural correlates of conscious experience. *Neural correlates of consciousness: Empirical and conceptual questions*, 139-151.
13. Einspieler, C., i Prechtl, H. F. (2005). Prechtl's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 11(1), 61–67.  
<https://doi.org/10.1002/mrdd.20051>
14. Einspieler, C., Prechtl, H. F., Ferrari, F., Cioni, G., i Bos, A. F. (1997). The qualitative assessment of general movements in preterm, term and young infants--review of the methodology. *Early human development*, 50(1), 47–60. [https://doi.org/10.1016/s0378-3782\(97\)00092-3](https://doi.org/10.1016/s0378-3782(97)00092-3)
15. Ferrari, F., Frassoldati, R., Berardi, A., Di Palma, F., Ori, L., Lucaccioni, L., Bertocelli, N., i Einspieler, C. (2016). The ontogeny of fidgety movements from 4 to 20weeks post-term age in healthy full-term infants. *Early human development*, 103, 219–224.  
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.10.004>
16. Forssberg, H., i Dietz, V. (1997). Neurobiology of normal and impaired locomotor development. *Clinics in Developmental Medicine*, (143), 78-100.
17. Forssberg, H., i Hirschfeld, H. (1994). Postural adjustments in sitting humans following external perturbations: muscle activity and kinematics. *Experimental brain research*, 97, 515-527.
18. Gisell, E. G. (1991). Effect of food texture on the development of chewing of children between six months and two years of age. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 33(1), 69-79.
19. Graybiel, A. M. (2005). The basal ganglia: learning new tricks and loving it. *Current opinion in neurobiology*, 15(6), 638-644.
20. Green, J. R., i Wilson, E. M. (2006). Spontaneous facial motility in infancy: a 3D kinematic analysis. *Developmental psychobiology*, 48(1), 16–28.  
<https://doi.org/10.1002/dev.20112>
21. Hadders-Algra, M. (2000a). The neuronal group selection theory: a framework to explain variation in normal motor development. *Developmental medicine and child neurology*, 42(8), 566-572. <https://doi.org/10.1017/s0012162200001067>

22. Hadders-Algra, M. (2000b). The neuronal group selection theory: promising principles for understanding and treating developmental motor disorders. *Developmental medicine and child neurology*, 42(10), 707-715. <https://doi.org/10.1017/s0012162200001316>
23. Hadders-Algra M. (2001a). Early brain damage and the development of motor behavior in children: clues for therapeutic intervention?. *Neural plasticity*, 8(1-2), 31–49. <https://doi.org/10.1155/NP.2001.31>
24. Hadders-Algra M. (2001b). Evaluation of motor function in young infants by means of the assessment of general movements: a review. *Pediatric physical therapy : the official publication of the Section on Pediatrics of the American Physical Therapy Association*, 13(1), 27–36. <https://doi.org/10.1097/00001577-200104000-00005>
25. Hadders-Algra M. (2004). General movements: A window for early identification of children at high risk for developmental disorders. *The Journal of pediatrics*, 145(2 Suppl), S12–S18. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.05.017>
26. Hadders-Algra, M. (2005). Development of postural control during the first 18 months of life. *Neural plasticity*, 12(2-3), 99-108.
27. Hadders-Algra, M. (2010). Variation and variability: key words in human motor development. *Physical therapy*, 90(12), 1823-1837. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100006>
28. Hadders-Algra, M. (2018a). Neural substrate and clinical significance of general movements: an update. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 60(1), 39-46. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13540>
29. Hadders-Algra M. (2018b). Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 90, 411–427. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.009>
30. Hadders-Algra, M., i Prechtl, H. F. R. (1992). Developmental course of general movements in early infancy. I. Descriptive analysis of change in form. *Early Human Development*, 28(3), 201-213.
31. Hadders-Algra, M., Van den Nieuwendijk, A. W. K., Maitijn, A., i van Eykern, L. A. (1997). Assessment of general movements: towards a better understanding of a sensitive method to evaluate brain function in young infants. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 39(2), 88-98. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07390.x>

32. Heineman, K. R., Bos, A. F., i Hadders-Algra, M. (2008). The Infant Motor Profile: a standardized and qualitative method to assess motor behaviour in infancy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50(4), 275-282. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.02035.x>
33. Heineman, K. R., i Hadders-Algra, M. (2008). Evaluation of neuromotor function in infancy-A systematic review of available methods. *Journal of developmental and behavioral pediatrics : JDBP*, 29(4), 315–323. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e318182a4ea>
34. Heineman, K. R., Middelburg, K. J., i Hadders-Algra, M. (2010). Development of adaptive motor behaviour in typically developing infants. *Acta paediatrica*, 99(4), 618-624. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2009.01652.x>
35. Heineman, K. R., Schendelaar, P., Van den Heuvel, E. R., i Hadders-Algra, M. (2018). Motor development in infancy is related to cognitive function at 4 years of age. *Developmental medicine and child neurology*, 60(11), 1149–1155. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13761>
36. Heineman, K., Bos, A. F., i Hadders-Algra, M. (2011). Infant Motor Profile and cerebral palsy: promising associations. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53, 40-45. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04063.x>
37. Katušić, A. (2020). Procjena ranog motoričkog repertoara u izrazito nedonošene dojenčadi. *Paediatrica Croatica*, 64(3), 159-165.
38. Kerschensteiner, D. (2014). Spontaneous network activity and synaptic development. *The Neuroscientist*, 20(3), 272-290.
39. Kolb, B. (1995). Brain Plasticity and Behavior (1st ed.). *Psychology Press*. <https://doi.org/10.4324/9780203773765>
40. Kostović, I., i Judaš, M. (1998). Transient patterns of organization of the human fetal brain. *Croat Med J*, 39(2), 107-14.
41. Kostović, I., i Judaš, M. (2006). Prolonged coexistence of transient and permanent circuitry elements in the developing cerebral cortex of fetuses and preterm infants. *Developmental medicine and child neurology*, 48(5), 388-393.

42. Kostović, I., i Rakic, P. (1990). Developmental history of the transient subplate zone in the visual and somatosensory cortex of the macaque monkey and human brain. *Journal of Comparative Neurology*, 297(3), 441-470.
43. Kostović, I., Kostović-Srzentić, M., Benjak, V., Jovanov-Milošević, N., i Radoš, M. (2014). Developmental dynamics of radial vulnerability in the cerebral compartments in preterm infants and neonates. *Frontiers in neurology*, 5, 139.
44. Kostović, I., Sedmak, G., Vukšić, M., i Judaš, M. (2015). The relevance of human fetal subplate zone for developmental neuropathology of neuronal migration disorders and cortical dysplasia. *CNS neuroscience & therapeutics*, 21(2), 74-82.
45. Leighton, A. H., i Lohmann, C. (2016). The Wiring of Developing Sensory Circuits-From Patterned Spontaneous Activity to Synaptic Plasticity Mechanisms. *Frontiers in neural circuits*, 10, 71. <https://doi.org/10.3389/fncir.2016.00071>
46. Lew, A. R., i Butterworth, G. (1997). The development of hand-mouth coordination in 2- to 5-month-old infants: Similarities with reaching and grasping. *Infant Behavior and Development*, 20(1), 59-69.
47. Machado, L. R., da Silva, C. F. R., Hadders-Algra, M., i Tudella, E. (2022). Psychometric properties of the Infant Motor Profile (IMP): A scoping review protocol. *PloS one*, 17(11), e0277755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277755>
48. Massion, J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22(4), 465-472.
49. Matijević, V. i Marunica Karšaj, J. (2015). Neurorizično dijete. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*, 27 (1-2), 133-142. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/150778>
50. Matijević, V., i Rota Čepnija, A. (2023). Neuromotorički razvoj od rođenja do samostalnog hoda djeteta. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*, 37 (1-2), 1-13. <https://doi.org/10.21751/FRM-37-1-2-1>
51. Meisels, S. J., i Shonkoff, J. P. (2000). Early childhood intervention: A continuing evolution. *Handbook of early childhood intervention*, 2, 3-31.
52. Mejaški-Bošnjak, V. (2007). Dijagnostički pristup ranom otkrivanju neurorazvojnih odstupanja. *Paediatr Croat*, 51(1), 105-110.
53. Mejaški-Bošnjak, V. (2008). Rani neurološki razvoj djeteta. *Paediatr Croat*, 52 (supl 1), 36-42.

54. Milas, G. (2005). *Istraživačke metode u psihologiji i drugim društvenim znanostima*. Jastrebarsko: Naklada Slap. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:118:385432>.
55. Miller, J. L., Sonies, B. C., i Macedonia, C. (2003). Emergence of oropharyngeal, laryngeal and swallowing activity in the developing fetal upper aerodigestive tract: an ultrasound evaluation. *Early human development*, 71(1), 61–87.  
[https://doi.org/10.1016/s0378-3782\(02\)00110-x](https://doi.org/10.1016/s0378-3782(02)00110-x)
56. Nathani, S., Ertmer, D. J., i Stark, R. E. (2006). Assessing vocal development in infants and toddlers. *Clinical linguistics & phonetics*, 20(5), 351–369.  
<https://doi.org/10.1080/02699200500211451>
57. Newell, K. M., Scully, D. M., McDonald, P. V., i Baillargeon, R. (1989). Task constraints and infant grip configurations. *Developmental psychobiology*, 22(8), 817–831.  
<https://doi.org/10.1002/dev.420220806>
58. O'Rahilly, R. R., i Muller, F. (2006). The embryonic human brain: an atlas of developmental stages. *John Wiley & Sons*.
59. Peiper, A. (1963). Cerebral function in infancy and childhood (translation of the 3rd revised German edition by Nagler B, Nagler H). *New York: Conslutants Bureau*.
60. Petanjek, Z., Hromatko, I., Sedmak, D. i Hladnik, A. (2021). Opći principi ustroja središnjega živčanoga sustava i razvojni procesi. U I. Begovac, (Ur.), *Dječja i adolescentna psihijatrija* (str. 2-14). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Medicinski fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:131:811978>
61. Petanjek, Z., i Kostović, I. (2012). Epigenetic regulation of fetal brain development and neurocognitive outcome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11062-11063.
62. Pinjatela, R., i Joković Oreb, I. (2010). Rana intervencija kod djece visokorizične za odstupanja u motoričkom razvoju. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 46(1), 80-102.
63. Polovina, S., Škorić Polovina, T., Polovina, A. i Polovina-Prološćić, T. (2010). Intensive Rehabilitation in Children with Cerebral Palsy: Our View on the Neuronal Group Selection Theory. *Collegium antropologicum*, 34 (3), 981-988. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/59357>

64. Prechtl, H. F. (1997). The importance of fetal movements. *The neurophysiology & neuropsychology of motor development*, 42-53.
65. Prechtl H. F. (2001). General movement assessment as a method of developmental neurology: new paradigms and their consequences. The 1999 Ronnie MacKeith lecture. *Developmental medicine and child neurology*, 43(12), 836–842.  
<https://doi.org/10.1017/s0012162201001529>
66. Prechtl, H. F., i Hopkins, B. (1986). Developmental transformations of spontaneous movements in early infancy. *Early human development*, 14(3-4), 233-238.
67. Rizzi, R., Menici, V., Cioni, M. L., Cecchi, A., Barzacchi, V., Beani, E., ... i Sgandurra, G. (2021). Concurrent and predictive validity of the infant motor profile in infants at risk of neurodevelopmental disorders. *BMC pediatrics*, 21, 1-11.  
<https://doi.org/10.1186/s12887-021-02522-5>
68. Rubinstein, M., Denays, R., Ham, H. R., Piepsz, A., Van Pachterbeke, T., Haumont, D., i Noël, P. (1989). Functional imaging of brain maturation in humans using iodine-123 iodoamphetamine and SPECT. *Journal of nuclear medicine*, 30(12), 1982-1985.
69. Schöpf, V., Kasprian, G., Brugger, P. C., i Prayer, D. (2012). Watching the fetal brain at ‘rest’. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 30(1), 11-17.
70. Sparling, J. W., Van Tol, J., i Chescheir, N. C. (1999). Fetal and neonatal hand movement. *Physical Therapy*, 79(1), 24-39.
71. Spittle, A., Orton, J., Anderson, P. J., Boyd, R., i Doyle, L. W. (2015). Early developmental intervention programmes provided post hospital discharge to prevent motor and cognitive impairment in preterm infants. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2015(11), CD005495. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005495.pub4>
72. Sporns, O., i Edelman, G. M. (1993). Solving Bernstein's problem: a proposal for the development of coordinated movement by selection. *Child development*, 64(4), 960–981.
73. Straathof, E. J., Heineman, K. R., La Bastide-van Gemert, S., Hamer, E. G., i Hadders-Algra, M. (2022). Infant motor behaviour and functional and cognitive outcome at school-age: A follow-up study in very high-risk children. *Early Human Development*, 170, 105597. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2022.105597>
74. Thelen, E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychologist*, 50(2), 79–95. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.2.79>

75. Touwen, B. (1976). Neurological development in infancy. *Clinics in Developmental Medicine, Vol. 58.*, 68-70.
76. Tveten, K. M., Hadders-Algra, M., Strand, L. I., Van Iersel, P. A. M., Rieber, J., i Dragesund, T. (2020). Intra- and Inter-Rater Reliability of the Infant Motor Profile in Infants in Primary Health Care. *Physical & occupational therapy in pediatrics, 40(5)*, 571–581. <https://doi.org/10.1080/01942638.2020.1720331>
77. van der Heide, J. C., Fock, J. M., Otten, B., Stremmelaar, E., i Hadders-Algra, M. (2005). Kinematic characteristics of postural control during reaching in preterm children with cerebral palsy. *Pediatric research, 58(3)*, 586–593. <https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000176834.47305.26>
78. Vohr, B. R., i Coll, C. T. G. (1985). Neurodevelopmental and school performance of very low-birth-weight infants: a seven-year longitudinal study. *Pediatrics, 76(3)*, 345-350.
79. von Hofsten, C. (1979). Development of visually directed reaching: the approach phase. *Journal of Human Movement Studies, 5*, 160-178.
80. von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: a longitudinal study. *Journal of motor behavior, 23(4)*, 280-292.