

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi



Co-funded by
the European Union



Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

MODUL II

Rani neurorazvoj

Nastavnik:

Dr. Elvira Mercado Val
Departments of Education Sciences
University of Burgos, Spain

e-EarlyCare-T



Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

Projekt e-EarlyCare-T (“Specialized and updated training on supporting advanced technologies for early childhood education and care professionals and graduates”), broj 2021-1-ES01-KA220-SCH-000032661, je sufinanciran sredstvima Europske komisije iz Erasmus+ programa, ključne aktivnosti KA220 Strateško partnerstvo u području odgoja i općeg obrazovanja. Sadržaj ove publikacije odražava isključivo stavove autora. Europska komisija i Španjolski institut za internacionalizaciju obrazovanja (Spanish Service for the Internationalization of Education) (SEPIE) se ne smatraju odgovornim za bilo kakvu uporabu informacija sadržanih u njoj.



Sadržaj

I. UVOD	4
II. CILJEVI	4
III. SADRŽAJ SPECIFIČAN ZA POJEDINE TEME	4
3.1. Razvoj mozga: osnove.....	4
3.1.1 Prenatalni i postnatalni razvoj mozga	6
3.2 Anatomija neurorazvoja	9
3.3. Funkcionalni kognitivni neurorazvoj	11
3.3.1 Vizualna percepcija	11
3.3.2. Pamćenje	12
3.3.3. Jezik.....	13
3.3.4 Izvršne funkcije	14
3.4 Plastičnost mozga u razvoju dječjeg mozga.....	15
3.4.1 Vrste plastičnosti mozga	15
ZAKLJUČAK	16
RJEČNIK POJMOVA	16
PREPORUČENA LITERATURA	17

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

I. Uvod

Neurorazvoj je proces stjecanja vještina prilikom sazrijevanja mozga i živčanog sustava u djeteta, sve do dostizanja odrasle dobi. To je proces u kojem interveniraju biološki i okolišni aspekti koji su u stalnoj interakciji. U ovom poglavlju, neurorazvojni procesi živčanog sustava bit će razmotreni s evolucijskog gledišta kako bi se razumjeo razvoj pojedinih mentalnih mehanizama i ljudskog ponašanja u djeteta.

II. Ciljevi

Upoznati faze sazrijevanja mozga i faze stjecanja različitih vještina i sposobnosti koje će omogućiti djetetu pravilan razvoj, unutar neurorazvojnog procesa.

III. SADRŽAJ SPECIFIČAN ZA POJEDINE TEME

3.1. Razvoj mozga: osnove

Što se tiče razvoja mozga, najraširenija ideja koja danas postoji je da se u prvim godinama života brojčano povećava kompleksnost i funkcionalnost mozga. Međutim, kako ističe Sebastian (2012), veći broj neurona i veza ne znači bolje funkcioniranje mozga.

Kako Ortiz (2018) naglašava, neurorazvoj je spor proces koji će trajati nekoliko desetljeća i neće imati svoju direktnu paralelu s biološkim neurorazvojom. Razvoj i sazrijevanje mozga karakterizira dugotrajan i heterokroni razvoj. Kako se pritom moždane strukture razvijaju, perceptivne, motoričke i kognitivne funkcije počinju se izražavati u vidljivim ponašanjima. Dakle, strukture koje se brže razvijaju očituju prve i svoje funkcije, a potom dolaze funkcije koje se razvijaju sporije, kao što su sposobnosti koje kontrolira neokorteks (frontalni režanj) (Kolb i Whishaw, 2003., Coll, 2011.).

Ljudska se bića rađaju s nezrelim mozgom lišenim funkcionalnog kognitivnog sustava i zapravo će ta nezrelost omogućiti iskustvu da oblikuje mozak na fundamentalan način.

Također, različite stope sazrijevanja različitih kortikalnih struktura bit će određene i genetikom i specifičnim mehanizmima stimulacije kojima je izložen mozak u razvoju.

U prvim mjesecima života moždana kora doživljava značajnu proliferaciju sinapsi (neuronska komunikacija) koja će rezultirati stvaranjem sinaptogeneze, nakon čega slijedi razdoblje sinaptičkog **obrezivanja** (*engl. pruning*), (eliminacija sinapsi, često zbog neiskorištenosti).

Još jedan element koji je uključen u razvoj mozga povezan je s **mijelinizacijom** neurona, procesom koji se sastoji od toga da se aksoni neurona prekrivaju svojevrsnim "izolatorom" formiranim od bijele tvari kako bi se omogućio adekvatan prijenos signala.

Kod mozga u razvoju, količina mijelina u određenom području mozga je dobar pokazatelj upotrebe područja te potiče razvoj određenog kortikalnog područja i utiče na kasniji kognitivni proces.

Dakle, kao i kod procesa sinaptogeneze i sinaptičkog obrezivanja, mijelinizacija također ima različite stope formiranja ovisno o tome koja se područja mozga razvijaju. Važno je stoga ne samo koliko neurona ili sinaptičkih veza postoji, nego i kakva je struktura bijele tvari (aksona i mijelina), dendrita, kao i neurokemijskih sklopova koji oblikuju funkcioniranje mozga.

Pretpostavlja se (Tablica 1) da je proces sinaptičkog obrezivanja i sinaptogeneze određen neurokemijskim mehanizmima. Odnosno, prisutnost određenih molekula u određenim područjima mozga pojačat će ili usporiti pojavu ili nestanak određenih sinapsi, što je uvjetovano aktivnošću neurona (Sebastián Gallés, 2012.).

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

Tablica 1. Neke značajke razvoja ljudskog mozga. Izvadak iz García Madruga i Heranz Ibarra, 2010.

<p><i>Postnatalni rast ljudskog mozga</i></p>	<p>Masa mozga se učestvostruči između rođenja i odrasle dobi.</p> <p>Značajno povećanje broja i složenosti neurona.</p> <p>Stalno povećanje gustoće sinaptičkih veza u različitim regijama moždane kore.</p> <p>Povećanje procesa mijelinizacije što će omogućiti poboljšanje brzine prijenosa informacija između neurona.</p>
<p><i>Gubitak ili "sinaptičko obrezivanje (pruning)" sinaptičkih veza</i></p>	<p>Proces koji uključuje selektivni gubitak sinapsi u razvoju mozga.</p> <p>Karakteristično je početno povećanje i naknadno smanjenje tzv. "obrezivanje" sinaptičke gustoće koje se pojavljuje u različitim periodima u skladu s razvojem različitih kortikalnih regija.</p> <p>Čini se da je početna prekomjerna proizvodnja sinaptičkih veza i kasnije "obrezivanje" povezano s posebnom plastičnošću dječjeg mozga.</p>
<p><i>Plastičnost mozga</i></p>	<p>Plastičnost je temeljno svojstvo razvoja moždane kore.</p> <p>Na proces diferencijacije i specijalizacije različitih područja korteksa snažno utječe sama neuronska aktivnost, uz inherentne čimbenike povezane s automatskim "pokretačem". (uglavnom djetinjstvo i adolescencija)</p>

3.1.1 Prenatalni i postnatalni razvoj mozga

Sva složenost mozga proizlazi iz preciznog prostorno-vremenskog slijeda glavnih procesa razvoja mozga. (Slika 1). To vrijedi i za regionalizaciju mozga, neuralnu migraciju i formiranje sinapsi od strane neuralnih stanica tijekom embrionalnog i perinatalnog razdoblja.

Stanice živčanog sustava nastaju iz jednog od tri lista iz kojih se razvija embrij, ektoderma, tijekom procesa koji se naziva **gastrulacija**. Matične stanice medijalnog dijela ektoderma proliferiraju izuzetno velikom brzinom stvarajući neuralnu ploču i tvoreći neuralnu cijev (**neurulacija**).

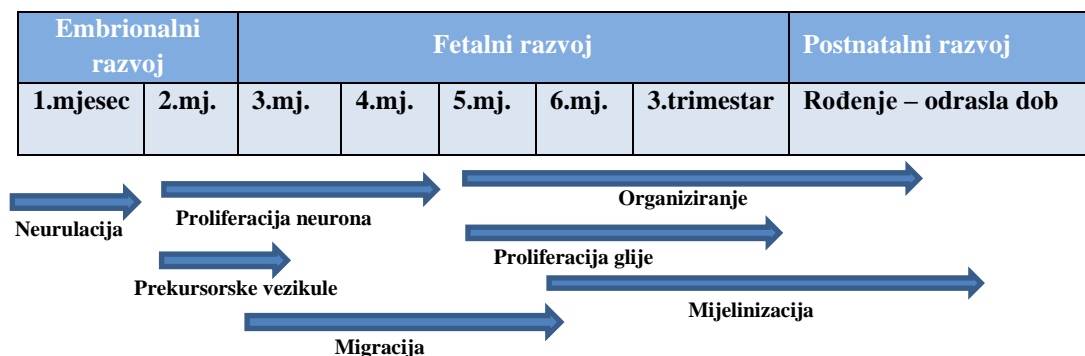
Prekursorske vezikule, oko četvrtog gestacijskog tjedna, formirat će tri glavne strukture koje će oblikovati budući mozak.

S druge strane, matične stanice neuralne cijevi bit će budući neuroni i glija stanice. Stanice koje će postati neuroni izgubit će svoju sposobnost dijeljenja. Kako bi



Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

formirali različite regije živčanog sustava, još uvijek nezreli neuroni će migrirati s mjesta nastanka na svoju konačnu lokaciju u živčanom sustavu i tamo se ujediniti s drugim neuronima kako bi formirali funkcionalne jedinice.



Slika 1. Faze razvoja živčanog sustava. Enseñat i sur., 2015

Proliferacija, također nazvana **neurogeneza**, proces je koji se događa između trećeg i petog mjeseca fetalnog razvoja, a sastoji se od mitotičke diobe matičnih stanica u neuralnoj cijevi da bi kasnije nastali neuroni i glija.

Paralelno s tim procesom događa se i **migracija stanica**, a to su pomaci živčanih stanica, odnosno stanica prekursora u svrhu uspostavljanja diferenciranih populacija živčanih stanica (nastanak slojeva moždane kore, subkortikalne jezgre). Smatra se da neke potporne stanice (glija) pomažu u vođenju procesa stanične migracije.

Stvaranje sinaptičkih veza (sinaptogeneza) odvija se u različitim periodima tijekom razvoja. Tijekom posljednjih mjeseci intrauterinog života i prvih godina djetinjstva formirat će se iznimno velik broj sinapsi, ali će mnogi od tih neurona nestati, dok će se nove sinapse formirati, a funkcioniranje postojećih promijeniti. Taj se proces naziva **sinaptička reorganizacija** i ključan je za sazrijevanje mozga i posljedičnu evoluciju mentalnih sposobnosti. Konačne sinapse će u velikoj mjeri ovisiti o obrascu aktivnosti neurona, a to će zauzvrat biti povezano s upotrebom tih sinapsi.

Da bi nezreli neuroni mogli razviti funkcije koje ih definiraju (obrada kemijskih i električnih signala) moraju steći specifična elektrofiziološka i biokemijska svojstva te uspostaviti sinaptičke kontakte s drugim neuronima. Ovi nezreli neuroni moraju biti sposobni generirati i provoditi živčane impulse (**akcijske potencijale**), otpuštati određene vrste neurotransmitera (kemikalije koje služe za komunikaciju i izazivaju određen učinak) i odgovoriti na poruke koje emitiraju drugi neuroni.

Prije formiranja sinaptičkih veza potrebno je formirati akson, produžetak koji izlazi iz tijela stanice i povećava svoju duljinu dok ne dosegne područje koje sadrži ciljne neurone s kojima će uspostaviti sinapse. Također je potrebno formirati dendrite (neuronske ekstenzije specijalizirane za primanje informacija).

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

U različitim trenucima razvoja (Coll, 2011.), a pogotovo u perinatalnom stadiju, odvija se jedan naizgled paradoksalan proces, a to je **stanična smrt ili apoptoza**.

Programirana stanična smrt ili apoptoza eliminira mnoge neurone koji su nastali u prethodnim fazama pri čemu u njima počinje ekspresija gena koji aktiviraju programirano samouništenje. Taj se proces najvjerojatnije aktivira u onim neuronima koji nisu uspjeli uspostaviti funkcionalne sinapse i zauzvrat nisu dobili neurotrofne čimbenike (proteine koji osiguravaju preživljavanje neurona) a dio je pravilnog stvaranja sinaptičkih veza i sinaptičke plastičnosti.

Zaključno, tijekom razvoja živčanog sustava generirat će se značajan broj neurona, ali će neki od njih biti selektivno eliminirani. Također će se formirati vrlo velik broj sinapsi koje će nakon toga proći proces reorganizacije.

Fenomeni sinaptičke reorganizacije i apoptoze završit će konfiguriranjem živčanog tkiva s manje neurona i manje sinapsi od onih koje su prvobitno formirane, ali s učinkovitijim funkcioniranjem (Coll, 2011.).

Postnatalni razvoj

Općenito, razvoj i sazrijevanje mozga karakterizira dugo trajanje i činjenica da se odvija u različitim periodima. Stoga će se različiti aspekti razvoja odvijati ne samo tijekom djetinjstva, već i tijekom adolescencije. Općenito, regije povezane s osnovnijim senzornim, motoričkim i fiziološkim funkcijama sazrijevaju prve, dok područja povezana sa složenim kognitivnim funkcijama pokazuju sporiji proces sazrijevanja.

Promjene sazrijevanja moždanog tkiva tijekom djetinjstva i adolescencije pokazuju smanjenje volumena sive tvari i povećanje volumena bijele tvari. Siva tvar se sastoji od dijelova živčanog tkiva koje nosi većinu sinapsi, od neuronskih tijela i dendrita, dok je bijela tvar u osnovi sastavljena od živčanih vlakana (aksona).

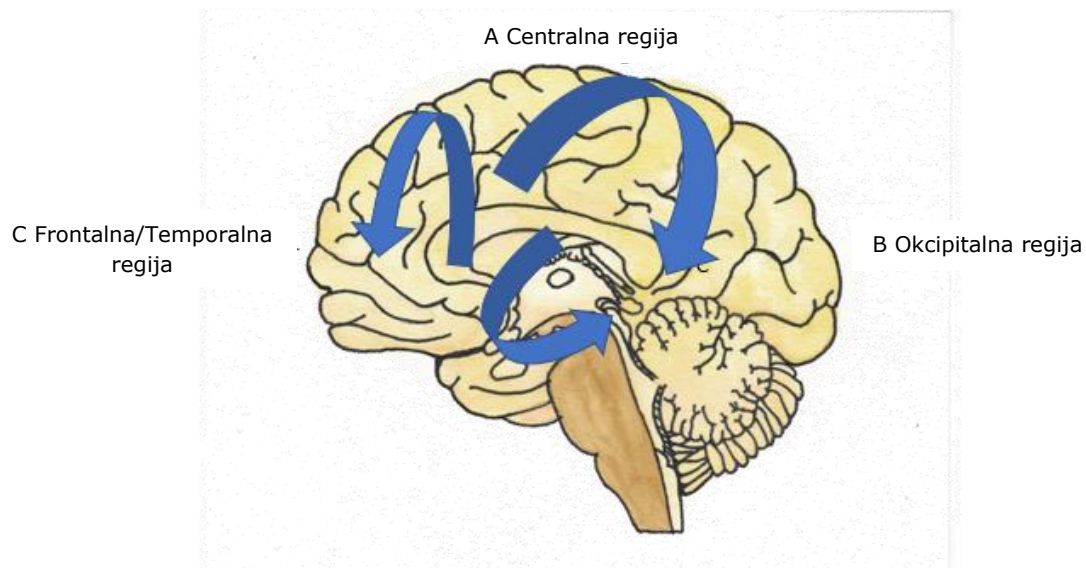
Od posljednjih mjeseci gestacije do otprilike dvije godine života, postoji vrlo primjetan porast moždanih sinapsi, čiji će se broj kasnije smanjiti, odražavajući smanjenje volumena koji zauzima siva tvar. Spomenuti proces sinaptičke reorganizacije poboljšava učinkovitost funkcioniranja mozga. Zauzvrat, povećanje volumena bijele tvari može se pripisati povećanoj mijelinizaciji aksona.

U nekim regijama, posebno u područjima povezanim s takozvanim izvršnim funkcijama (sposobnost planiranja, inhibicija nebitnih misli, upravljanje emocijama), ovaj se proces mijelinizacije odvija i do trećeg desetljeća života (Coll, 2011.).



3.2 Anatomija neurorazvoja

Kao što smo vidjeli, razvoj i sazrijevanje cerebralnog korteksa, a time i centralnog živčanog sustava (*engl. Central Nervous System, CNS*), mogu se procijeniti pomoću različitih kriterija: mijelinizacija, razvoj aksona, mjerenje neurodenziteta (razvoj dendrita i staničnih tijela) i mjerenje debljine kortikalnih slojeva (pokazuje stupanj složenosti, neuralne mreže kore velikog mozga) (Gvineja, 2003.).



Slika 2. Obrazac mijelinizacije korteksa. Preuzeto iz Enseñat i sur., 2015

Kao što smo već istaknuli, nastanak kognitivnih funkcija ovisi o procesu mijelinizacije (slika 2). Najprije će postati operabilna osjetilna i motorička područja (parijetalno područje), zatim će se razvoj nastaviti prema vidnim područjima, smještenima u okcipitalnom režnju, da bi se završio s koordiniranim izvršnim funkcijama u prefrontalnom dijelu režnja. Ovaj se proces odvija na **postupan i hijerarhijski način**, prateći koordinirane korake u razvoju sljedećih neuroanatomskih struktura.

1. Moždano deblo i retikularna formacija: U ovim moždanim strukturama nalaze se centri koji kontroliraju ritam budnosti i spavanja, pokrete disanja, reflekse kašlja, sisanje, gutanje, krvni tlak, pokrete srca i primarne autonomne funkcije života. Ovo su prve strukture koje se razvijaju, vitalne za preživljavanje.

2. Talamus: Talamus je ključna postaja za prijenos osjetnih informacija do moždane kore. Nakon 14. tjedna svi su talamički djelovi razvijeni. Većina jezgara doseže citološku zrelost do 18. tjedna, osim pulvinara, koji se razvija u drugoj polovici trudnoće. Oko 29. tjedna su veze između talamusa i kore velikog mozga uspostavljene pa iako osjetne jezgre talamusa mogu prenijeti neke informacije do kore velikog mozga i ranije, ostaje pitanje svjesnosti iste.

3. Bazalni gangliji: Bazalni gangliji se nalaze u subkortikalnom području i važni su za motoriku i kognitivne funkcije, uključujući kontrolu voljnih motornih pokreta, učenje, rutinska ponašanja, spoznaje i emocije. Strijatum je jedna od glavnih komponenti bazalnih ganglija, a sastoji se od putamena koji se razvija nešto brže te od *caudate nucleus* koji ga slijedi. Razvoj traje 4-4.5 mjeseca, a prve sinapse u području se uočavaju nakon otprilike 60 dana.

Ove dvije strukture, i putamen i *caudatus nucleus*, strukture su koje čine bazalne ganglije, temeljne strukture zajedno s talamusom, cerebralnim korteksom i malim mozgom, koje su odgovorne za motoričku kontrolu. Također treba napomenuti da će se prvi aferenti iz moždanog debla i substancije nigre pojaviti oko 40. dana, a oni iz prefrontalnog korteksa oko 70. dana.

4. Hipokampus: Razvoj ove moždane strukture važne za pamćenje, učenje i naučena ponašanja počinje nakon 1.mjeseca trudnoće i praktički je simultan u svim područjima. Iako su u drugoj polovici gestacije već dobro diferencirani postsinaptički elementi i uspostavljeni aferentni putovi značajan je porast interesa za doprinos hipokampusu razvoju kognitivnih sposobnosti u djetinjstvu te je sigurno kako hipokampus prolazi kroz produljeni funkcionalni i strukturalni razvoj nakon rođenja.

5. Mali mozak: Građen je od dvije hemisfere spojene vermisom. Početkom petog mjeseca gestacije dovršena je kora u području vermisa dok razvoj hemisfera malog mozga, pogotovo lateralnih strana istih, kasni oko jedan i pol do dva mjeseca. Do šest mjeseci sva cerebelarna područja imaju konačan broj slojeva, iako embrionalni granularni slojevi potpuno ne nestaju sve do sedam ili osam mjeseci nakon rođenja. Sve do druge godine života, mali mozak brzo raste da bi dosegao veličinu odrasle osobe između šeste i devete godine života.

6. Primarna motorička i senzorna područja: Sazrijevanje slojeva motoričkog korteksa počinje rođenjem i njegov će razvoj omogućiti refleksne i spontane pokrete udova, iako će trebati više vremena dok beba ne počne izvoditi koordinirane pokrete.

7. Sekundarna motorna i senzorna područja: Sazrijevanje ovih područja može koincidirati sa sazrijevanjem primarnih i tercijarnih područja, iako je razvoj ovog područja sporiji i završava oko pete godine života. Sazrijevanjem sekundarnih područja počinje proces lateralizacije funkcija i prijelaz sa senzomotorne razine na perceptivno motoričku. Ta su područja neophodna za učenje tijekom prvih godina života.

8. Tercijarna i posteriorna područja moždane kore: Odgovaraju području integracije podražaja različitih osjetilnih modaliteta i proizvodnje simboličkih funkcionalnih shema. Sazrijevanje ovih područja ključno je za stjecanje školskog znanja, ističući angularni girus parijetalnog režnja, neophodan za usvajanje čitanja.

9. Prefrontalni korteks: Dio korteksa koji će se zadnji razviti. Neće biti potpuno funkcionalan do dobi od četiri do sedam godina i nastaviti će svoj razvoj u odrasloj dobi. Naziva se i neokorteks.

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

Na proces diferencijacije i specijalizacije različitih područja korteksa snažno utječe sama neuronska aktivnost, uz inherentne čimbenike povezane s automatskim "aktiviranjem".

3.3. Funkcionalni kognitivni neurorazvoj

Razvoj glavnih kognitivnih funkcija ovisi o sazrijevanju moždanih sklopova koji ga podržavaju. Poznavanje evolucije i normalnog razvoja kognitivnih funkcija ključno je za prepoznavanje i tumačenje mogućih promjena u razvoju. Nuropsihologija je fokusirana na proučavanje glavnih kognitivnih procesa koji će se uspostaviti kako se živčani sustav razvija. Govorit ćemo o maturacijskom razvoju percepcije, pamćenja, pažnje, jezika te u cijelosti o razvoju izvršnih funkcija. (Enseñat, Roig i García, 2015.).

3.3.1 Vizualna percepcija

Općenito, prihvaćeno je da tijekom prve godine života vizualni sustav prolazi kroz važne funkcionalne promjene (i za okulomotornu regulaciju i za vidnu oštrinu) pokazujući funkcionalne promjene koje ovise o subkortikalnim strukturama u početku, da bi zatim prešle na obradu na razini kore velikog mozga.

Što se tiče dva puta odgovorna za obradu pokreta, oblika predmeta, mjesta i lica, *ventralni put* je odgovoran za obradu oblika, dok je *dorzalni put* odgovoran za obradu pokreta.

Integrirani odgovor na pokret smatra se ranijim od integrirane obrade oblika. Međutim, procesiranju pokreta trebat će dulje da dosegne zrelost i čini se da je podložniji promjenama (Enseñat i sur., 2015.).

Jedan od najviše proučavanih vizualnih procesa u djetinjstvu je prepoznavanje lica. Svi dokazi prikupljeni istraživanjem navode nas na zaključak da se već u dobi od 5 godina ili možda ranije postiže zrelost u percepciji lica, dijelom zahvaljujući genetskim mehanizmima i urođenim doprinosima.

Stoga se može smatrati da su u djetinjstvu već prisutni mehanizmi koje koriste u percepciji lica odrasle osobe. To bi uključivalo fenomene povezane s prepoznavanjem individualnosti i učenjem novih lica, globalnu obradu, kao i prihvaćanje nepostojanja određenih očekivanih značajki, ali uspjevanje prepoznavanja tog prethodno 'kodiranog' lica (Enseñat i sur., 2015.).

Ne treba zaboraviti da će sazrijevanje drugih kognitivnih procesa pridonijeti poboljšanju prepoznavanja lica nakon ranog djetinjstva Tako će se primjerice prepoznavanje lica poboljšati kada dođe do razvoja prepoznavanja emocionalnog izražavanja, povezanog s promjenama u vezama između neuroanatomskih struktura kao što je fusiform girus i strukture limbičkog sustava (amigdala, hipokampus).



3.3.2. Pamćenje

Dob u kojoj se dostiže zrelost pamćenja ovisi o nekoliko čimbenika. S jedne strane, posredovana je razvojem *strategija kodiranja* ovisnih o sazrijevanju prefrontalnog korteksa. Također, razvojem samog *mnezičkog procesa* (mnezički procesi: učenje, pronalaženje, logička memorija) povezanog sa sazrijevanjem medijalnog temporalnog režnja.

Navedeno će rezultirati povećanjem općeg znanja koje će nužno poboljšati sposobnost pamćenja. Kako navode Enseñat i suradnici (2015), još jedan čimbenik utjecaja je razvoj *osnovnih kognitivnih funkcija* kao što su brzina obrade, pažnja, kapacitet radne memorije te konačno učinak *složenih funkcija* kao što su pamćenje, sposobnost rješavanja problema ili metamemorija (Enseñat, 2015, Ofen, 2012).

Epizodno pamćenje se razvija tijekom djetinjstva, no nije jasno postiže li se zrelost u određenoj dobi djeteta ili se ipak nastavlja razvijati tijekom razvoja do adolescencije.

Što se tiče razvoja strategija kodiranja, one koje podrazumijevaju veću složenost, korištenje određenih postupaka za 'dobivanje' slobodne memorije ili utjecaj kronološkog poretka, razvit će se kasnije (frontalni režanj vs okcipitalni režanj).

Medijalni temporalni režanj ključan je za procese pamćenja, npr. kod asocijativne memorije i oni sazrijevaju ranije (Ofen, 2012., Enseñat i sur., 2015.).

Evolucija epizodnog pamćenja proizlazi iz razvoja moždane mreže koja uključuje niz struktura, sigurno hipokampus i prefrontalni korteks, a uloga parijetalnog režnja u razvoju epizodnog pamćenja nije tako jasna i sugerira se da može funkcionirati kao posrednik kroz uključivanje procesa pažnje.

Što se tiče proceduralnog pamćenja, neophodnog za složeno razmišljanje, znamo da djeca već u ranoj dobi stječu proceduralne vještine. One će im kasnije pomoći u učenju novih vještina. Dob stjecanja ovisit će o samoj vještini, broju ponavljanja onoga što je zapamćeno i potrebama za korištenje drugih kognitivnih funkcija. Smatra se da proceduralna memorija prvo prolazi kroz fazu u kojoj su potrebni kognitivni resursi (kratkoročno pamćenje) kako bi se onda postupno mogla pretvoriti u automatiziranu memoriju u kojoj je utjecaj vanjskih podataka smanjen. Međutim, ovim je pristupom teško objasniti svo proceduralno učenje kod djece kod koje još nisu razvijeni mehanizmi eksplicitnog tj. namjernog učenja i kognitivne kontrole.

Radna memorija odnosi se na sposobnost održavanja i manipuliranja informacijama potrebnim za usmjeravanje određenog ponašanja tijekom kratkog vremenskog razdoblja. Općenito, smatra se da ovaj kapacitet doživljava značajan porast u dobi od 11 godina, kao i između 15. i 19. godine života, a maksimalne razine doseže u odrasloj dobi. Pravilan razvoj povezan je sa sazrijevanjem kortikalnih područja kao što su gornji frontalni korteks, intraparijetalni korteks te njihove veze.

Razvoj različitih vrsta pamćenja predstavlja osnovu za stjecanje vještina i znanja odrasle osobe. Poznavanje prekretnica koje očekujemo tijekom djetinjstva pruža korisne informacije za kliničku procjenu te ima važne implikacije za obrazovanje.



Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

S obzirom da je dječje epizodno pamćenje u osnovi asocijativno (barem do osnovnoškolskog obrazovanja) bitno je razred uputiti u korištenje specifičnih strategija za poboljšanje sposobnosti pamćenja (Enseñat i sur., 2015).

3.3.3. Jezik

Usvajanje jezika, kao i usvajanje drugih kognitivnih funkcija, u velikoj će mjeri ovisiti o razini stimulacije iz okoline i ispravnom sazrijevanju mozga (Enseñat i sur., 2015). Adekvatan razvoj lingvističkog sustava ovisi o interakciji s drugim funkcionalnim mrežama odgovornim za sposobnosti, na primjer, motoričke ili vizualno-prostorne, pamćenje, pozornost, kapacitet akustične diskriminacije te socijalne i emocionalne vještine.

Važno je napomenuti da se svi aspekti jezika ne usvajaju u istim vremenskim okvirima. Znamo, na primjer, da će se kritično razdoblje za učenje fonema dogoditi tijekom prve godine života. Ubrzo nakon rođenja, bebe su već sposobne razlikovati fonetske kontraste različitih jezika, čak i one kontraste koji nisu prisutni u njihovom materinjem jeziku (Enseñat i sur., 2015.).

Izloženost jezičnom kontekstu tijekom prve godine života omogućit će specijalizaciju ove vještine, postizanje boljeg kapaciteta za fonološke kontraste jezika koji su prisutni u njihovom svakodnevnom životu (Lingvističko razdoblje).

Sljedećih mjeseci dijete uči prosječno 10 riječi mjesečno dok ne prijeđe brojku od 50 riječi, kasnije, oko 18 mjeseci, očita je eksplozija tog vokabulara i dijete je već sposobno naučiti prosječno 30 riječi na mjesec (Enseñat i sur., 2015.).

Oko druge godine života, između 18. i 36. mjeseca života, počinje sintaktičko učenje. Dijete je već u stanju sastavljati i kombinirati riječi u jednostavne gramatičke strukture (fraze s dvije riječi), a kasnije, oko pete godine života, djeca će postupno slagati sve složenije gramatičke strukture kojima dodaju upotrebu pitanja i negativne rečenice.

Od pete godine života djeca počinju eksperimentirati s uporabom jezika. Pojavljuju se komunikacijske strategije i zaključci koji će im omogućiti praćenje razgovora s drugom osobom, razjašnjavanje nesporazuma u govoru, povećanu razinu razumijevanja kao i povećanu pripovjedačku stranu (Enseñat i sur., 2015.).



Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

3.3.4 Izvršne funkcije

Izvršne funkcije odnose se na skup kognitivnih funkcija koje omogućavaju koherentan i organiziran plan dolaska do određenog cilja. Unutar ovih funkcija uključena je sposobnost planiranja, organizacije informacija, fleksibilnosti planiranja, kao i sposobnost kontrole impulsa (Roselli, 2002).

Općenito se smatra da su najkritičnije regije za nastanak izvršnih funkcija smještene u prefrontalnom korteksu, u najprednjem dijelu frontalnog režnja, ispred motoričkih područja. Prefrontalni korteks i veze koje ovo područje uspostavlja s drugim područjima mozga mijenjaju se ne samo tijekom djetinjstva, već također, na vrlo izražen način, tijekom adolescencije (Coll, 2011).

Izvršne funkcije uključuju sposobnosti koje se dijele na 'hladne' i 'vruće' izvršne funkcije. Prve se odnose na sposobnost planiranja, organizacije, postavljanja ciljeva, praćenja ponašanja, rješavanja problema, inhibicije, radnog pamćenja i kognitivne fleksibilnosti. Druge uključuju empatijski kapacitet, emocionalnu regulaciju, teoriju uma i sposobnost donošenja odluka s intuitivnom (afektivnom) komponentom, vještine potrebne da bismo mogli regulirati svoje ponašanje (Enseñat i sur., 2015).

Razvoj prefrontalnog režnja počinje u prenatalnom razdoblju, s kasnijim metaboličkim i strukturnim promjenama tijekom djetinjstva i adolescencije, ali svoju evolucijsku zrelost ne doseže do tridesetih godina, kada se prekida mijelinizacija.

Sazrijevanje kontrole pažnje i određenog kapaciteta radnog pamćenja javlja se rano, dok se druge složenije vještine poput planiranja i organizacije stječu tijekom adolescencije i odrasle dobi. Kontrola pažnje (selektivna pažnja, inhibicija odgovora, samoregulacija i samonadzor) je prvi element izvršne funkcije koji sazrijeva. Dokazi o postavljanju ciljeva (planiranje, postavljanje ciljeva i rješavanje problema) u ranom djetinjstvu su rijetki. Do 5. godine djeca već mogu postavljati ciljeve i planove.

I na kraju, vezano uz sposobnost donošenja odluka, kod djece je izražena afektivna komponentom, dakle ona povezana s trenutnim raspoloženjima o osjećajima, te se primjerice djeca od 3 do 6 godina oslanjaju isključivo na neposredne nagrade. Tek u adolescenciji počinju donositi odluke efektivno, na učinkovitiji način i s boljim efektom tj. rezultatom.

Ta je sposobnost povezana s kasnim sazrijevanjem ventromedijalnog i orbitofrontalnog prefrontalnog područja i čini se da je neovisna o razvoju inhibitorne kontrole i radnog pamćenja koje će se dogoditi u istoj fazi razvoja. (Anderson i sur., 2008. Enseñat i sur., 2015.).

3.4 Plastičnost mozga u razvoju dječjeg mozga

Središnji živčani sustav ima izvanrednu sposobnost modificiranja svoje funkcije i do neke mjere modificiranja svoje anatomske strukture kao odgovor na aktivnosti, podražaje iz okoline ili oštećenja koja može pretrpjeti. Plastičnost je stalan proces koji se može promatrati u različitim područjima: sinaptičkim, strukturalnim i organizacijskim mapama neurona. (Medina i sur., 2004.).

Kao opće pravilo, možemo ustvrditi da su promjene u ponašanju izazvane okolnostima kao što su učenje, pamćenje, navike, sazrijevanje, oporavak i sl., povezane s odgovarajućim promjenama u živčanom sustavu.

Koncept '**neuralne plastičnosti**' odnosi se, u normalnim okolnostima, na sposobnost živčanog sustava da oblikuje svoju strukturu i funkciju prema iskustvu, što dovodi do procesa učenja. S druge strane, u okolnostima patoloških stanja i oštećenja, na njegovu sposobnost da pokuša obnoviti potencijale individualnog genetskog programa kroz fenomen remodeliranja.

Ovo svojstvo mozga može se pratiti na više razina, od vidljivih promjena u ponašanju, moždanih mapa, sinaptičke organizacije, fiziološke organizacije i molekularne strukture.

Da bismo razumjeli procese kao što su pamćenje i navike, potrebno je razumjeti prirodu plastičnosti mozga. Naš genom osigurava određenu prilagodljivost i pri obradi informacija i također pri pokušaju anatomske-funkcionalne kompenzacije nakon pretrpljenog oštećenja (Narbonne i sur., 2012.).

3.4.1 Vrste plastičnosti mozga

Učenje i pamćenje novih informacija povezano je s promjenama u stanicama živčanog sustava (neuroni) i te promjene sačinjavaju neurološki zapis naučenih informacija (Grenough i Black, 1992; Coll, 2011).

Moguće je pojednostavljeno razlikovati tri vrste plastičnosti: razvojnu; induciranu iskustvom tijekom života; i na kraju, onu induciranu oštećenjem, npr. gubitkom aferentnih živaca ili promjenama u moždanoj aktivnosti.

1. Razvojno-iskustveno-očekivana plastičnost. (Plastičnost prema očekivanom iskustvu). Ova vrsta plastičnosti podrazumijeva sinaptičke promjene do kojih dovode aspekti okoliša koji su zajednički svim pripadnicima vrste i očekuju se u određenim trenucima razvoja (očekivana iskustva).

Kao što smo prethodno opisali, u početku postoji prekomjerna proizvodnja sinapsi, nakon čega slijedi gubitak neurona (Coll, 2011.).

Ova vrsta plastičnosti ograničena je na razdoblja maksimalne osjetljivosti tijekom razvoja prema određenim varijablama okoliša (**kritična ili osjetljiva razdoblja**). Nakon ovog vremenskog prozora, utjecaj koji slična iskustva imaju na mozak i njegove veze bit će mnogo ograničeniji. Stoga će izbor obrasca organizacije živčanog sustava biti trajno i ponekad nepovratno određen.

Ovaj mehanizam omogućuje genima da kodiraju prirodu veza koje treba uspostaviti, od fetalnog razdoblja i kasnije u postnatalnom razdoblju, gdje se "očekuje" da će dijete doživjeti osnovne epizode, zajedničke cijeloj vrsti, kao što je izloženost svjetlosti i

zvuku, kako bi se očuvale prethodno uspostavljene sinaptičke veze perceptivnog, vidnog i slušnog sustava (Siegel, 2016.).

2. Plastičnost ovisna o iskustvu. (Plastičnost prema individualnom iskustvu). Druga vrsta plastičnosti odražava promjene do kojih dovode informacije apsorbirane iz okoline, a koje mogu biti jedinstvene za pojedinca (specifično učenje vokabulara) i predstavljaju životna iskustva.

Takva plastičnost nije ograničena na fiksna vremenska razdoblja. Ova vrsta plastičnosti je maksimalna tijekom djetinjstva i adolescencije. Održava se tijekom cijelog života, osim u slučaju prisutnosti neurodegenerativnih bolesti ili neurorazvojnih poremećaja.

Pokreće ju otkrivanje relevantnih odnosa između podražaja (učenje i pamćenje) ili promjena u situaciji podražaja (lezije, gubitak udova). Dolazi do aktiviranja genetskih mehanizama za stvaranje sinapsi, čije uspješno stvaranje nedvojbeno ovisi i o nizu iskustava koja su već prethodno potaknula stvaranje određenih sinapsi. Ova vrsta plastičnosti je privremena i podložna je promjenama na temelju iskustva (Siegel, 2016.).

3. Plastičnost neovisna o iskustvu:

Odgovara promjenama u broju i/ili funkciji sinapsi koje se javljaju kao posljedica programirane ekspresije određenih gena bez posredovanja vanjskih ili iskustvenih čimbenika. Ova vrsta omogućuje optimalnu prilagodbu ponašanja promjenljivoj okolini. Učinak npr. povećanja sinapsi u korteksu uključenim u učenje posebno je uočljiv u "osjetljivim" ili kritičnim razdobljima ranog razvoja, ali se također događa i u mozgu odrasle osobe (Castaño, 2002).

Zaključak

U ovom poglavlju obrađeni su glavni koncepti ranog neurorazvoja, kako s neuroanatomske točke gledišta, tako i s funkcionalne točke gledišta. Analizirani su glavni neuroanatomski procesi uključeni u kognitivni, motorički, afektivni i funkcionalni razvoj djeteta, kao i fenomen plastičnosti mozga koji je dio neurorazvoja.

Rječnik pojmova

Apoptoza: Proces programirane smrti različitih stanica. U slučaju razvoja živčanog sustava, rezultira postizanjem učinkovitog živčanog sustava.

Migracija stanica: brojni pokreti i pomaci živčanih stanica, ili stanica prekursora, kako bi se uspostavile diferencirane populacije živčanih stanica (npr. slojevi cerebralnog korteksa, subkortikalne jezgre). Proces tijekom razvoja mozga potpomažu neke potporne stanice (glia).

Diferencijacija: Proces kojim stanice postaju specijaliziranije. U ranim stadijima embrionalnog razvoja stanice su slične jedna drugoj, ali se kasnije specijaliziraju i dobivaju specifične karakteristike kako postaju dio različitih struktura živčanog sustava.

Specijalizirani trening upotrebom naprednih tehnologija za osposobljavanje i specijalizaciju stručnjaka u području odgoja, obrazovanja i skrbi djece predškolske dobi

Heterokronija: biološki proces koji obuhvaća sve one promjene u ritmu, dakle promjene u odnosu na očekivano, razvojnih procesa koji dovode do preobrazbi oblika i veličine organizama.

Mijelinizacija: oblaganje aksona mijelinskom ovojnicom kako bi se omogućio odgovarajući prijenos živčanih impulsa.

Neurogeneza: dioba stanica naziva se i proliferacija, a proces neurogeneze se sastoji od diobe matičnih stanica u neuralnoj cijevi da bi nastali neuroni i glija.

Neurulacija: razvojni mehanizam u embriju pri kojem se formira neuralna cijev.

Ontogeneza: Razvoj individualnog organizma, počevši od začeca.

Filogenija: povijesni razvoj vrste, tj. kako se vrsta mijenjala tijekom vremena

Sinaptičko obrezivanje: (engl. pruning) Proces uklanjanja sinaptičkih veza koje mozak ne koristi tijekom razvojne faze, odvija se u dva perioda u djetinjstvu i mladosti.

Akcijski potencijal: val električnog pražnjenja koji putuje duž stanične membrane mijenjajući njenu distribuciju električnog naboja. Neophodan je za električnu sinapsu i naknadnu kemijsku sinapsu.

Sinaptogeneza: uspostavljanje sinaptičkih veza kako se neuronsko tkivo razvija, a aksoni i dendriti rastu.

Sinaptička reorganizacija: Gubitak nekih sinapsi i razvoj novih kako bi se poboljšala učinkovitost sinaptičkih veza.

Preporučena literatura

Arroyo, H. A. (2017). Brain plasticity and neurodevelopmental disorders. In: Fejerman, N., Grañana, N. (2017). Child neuropsychology. Paidós.

Brailoswky, S., Stein, D.G., Will, B. (1998). Broken brain, brain plasticity and functional recovery. FCE, Conacty.

Coll, M. (2011). Brain plasticity and experience: Neurobiological foundations of education. XII International Congress of Theory of Education. <http://www.cite2011.com/Ponencias/MColl.pdf>

García Madruga, J. A., Herranz Ybarra, P. (2010). Biological and motor development. In: Del Val, J. (2010). Developmental psychology. UNED.

Greenough, W., & Black, J. (1992). Induction of brain structure by experience: Substrate for cognitive development. En M. R. Gunnar & C. A. Nelson (Eds.), Minnesota symposia on child psychology 24: Developmental behavioral neuroscience (pp. 155-200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.



Enseñat Cantalops, A., Roig Rovira, T., Garcia Molina, A. (2015). Paediatric neuropsychology. Editorial Síntesis.

Fejerman, N., Grañana, N. (2017). Child neuropsychology. Paidós.

Kolb, B., Wishaw, I. Q. (2006). Human Neuropsychology. Pan American Physician.

Martínez-Morga, M., Martínez, S. (2016). Development and plasticity of the brain. *Revneurol*, 62 (Suppl. 1): S3-S8.

Medina, M., A., Escobar B, M. I. (2004). Neural plasticity and its relationship with the glutamate transporter system. *Colombian Association of Psychiatry*, No. 1, (155S-164S).

McKay, K., Halperin, J., Schwartz, S y Sharma. (1994). Developmental analysis of three aspects of information processing: sustained attention, selective attention, and response organization. *Developmental Neuropsychology*, 10, 121- 132

Narbonne, J., Crespo-Eguilaz, N. (2012). Brain plasticity for child and adolescent language. *Revneurol*. 54 (Suppl1): S127-S130.

Roselli, M. (2002). Brain maturation and cognitive development. *Neurosciences and Higher Functions*. PhD seminar in Social Sciences, childhood and youth.

Sebastián Galles, N. (2012). Developmental Educational Neuroscience: The Preschool Period. *Educational Participation*, Vol, 1: 33-38.

Ofen, N. (2012). The development of neural correlates for memory formation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*; 36: 1708-1717.

Ortiz, T. (2018). *Neuroscience in school: Hervat: neuroeducational research for learning improvement*. Madrid. SM Editions.