

Imamo li neuronske mreže za pretilost?

Jovana Polimanac

Odsjek za psihologiju

Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

ORCID: 0009-0008-3077-3078

Sažetak

U današnje vrijeme, kada je hrana mnogo dostupnija, raste prevalencija jednog od najvećih zdravstvenih problema na svjetskoj razini – pretilosti. Uz povezanost s povećanim rizikom za razna tjelesna i psihička oboljenja, pretilost i prekomjerna tjelesna težina vežu se za deficite u izvršnom funkcioniranju, što se odražava na procese kontrole impulsa, donošenja odluka i vrednovanja nagrada. Javlja se neravnoteža u neuronskim mrežama, pri čemu je prekomjerna tjelesna težina povezana sa slabijom neuralnom aktivnošću u mreži izvršne kontrole te intenzivnijom aktivnošću u mrežama istaknutosti i zadanog načina rada. Istraživanja provedena s djecom daju vrlo slične rezultate. Osim što osobe prekomjerne tjelesne težine tijekom prezentiranja podražaja vezanih za hranu pokazuju, za razliku od osoba zdrave tjelesne težine, različitu neuralnu aktivnost u određenim mozgovnim područjima, utvrđene su i razlike u neuralnoj aktivnosti i u odsutnosti podražaja. Pretpostavlja se da postojanje neravnoteže u komunikaciji između određenih mozgovnih područja, u odsutnosti podražaja vezanih za hranu, čini osobe s prekomjernom tjelesnom težinom prijemčivijima za uočavanje takvih podražaja i sklonijima upuštanju u konzumaciju hrane. Cilj se istraživanja u ovom području temelji na ideji da se otkrivanjem promjena koje postoje u moždanim neuronskim mrežama osoba s prekomjernom tjelesnom težinom u odnosu na osobe zdrave tjelesne težine, može bolje intervenirati u problem, ali čak i prevenirati pojavu pretilosti.

Ključne riječi: izvršne funkcije, neuronske mreže, prekomjerna tjelesna težina, pretilost

Uvod

U zadnjim je desetljećima prevalencija pretilosti uvelike porasla zbog čega danas predstavlja jedan od vodećih zdravstvenih problema u svijetu (Donofry i sur., 2020). U Republici Hrvatskoj 42% populacije ima prekomjernu tjelesnu težinu, a 23% je pretilo, što ukupno čini 65% stanovništva s nezdravom tjelesnom težinom (Hrvatski zavod za javno zdravstvo [HZJZ], 2021). Na svjetskoj se razini procjenjuje da je više od jedne milijarde stanovnika pretilo (Svjetska zdravstvena organizacija [WHO], 2022). Prema 11. izdanju Međunarodne kla-

sifikacije bolesti (MKB-11; 2022) pretilost je kronični kompleks koji može narušiti zdravlje, a definiran je prekomjernom masnoćom mjenom indeksom tjelesne mase (ITM). U većini je slučajeva prekomjerna masnoća određena većim brojem čimbenika poput psihosocijalnih čimbenika, genetike i okolinskih utjecaja. ITM između 25 i 30 kg/m² naziva se prekomjernom tjelesnom težinom, a ITM iznad 30 kg/m² označava pretilost (WHO, 2022). Prekomjerna tjelesna težina i pretilost povezane su s povećanom smrtnošću te povećanim rizikom od brojnih tjelesnih i psihičkih oboljenja, poput dijabetesa, kardiovaskularnih bolesti, anksioznosti, depresije i Alzheimerove bolesti (Cawley i Meyerhoefer, 2012). Dodatno, zbog stereotipnih je uvjerenja veća vjerojatnost da će osobe s prekomjernom tjelesnom težinom doživjeti diskriminaciju tijekom obrazovanja, zaposlenja i u zdravstvenom sustavu u odnosu na osobe prosječne, odnosno zdrave tjelesne težine (Cawley i Meyerhoefer, 2012).

Danas su istraživanja sve više usmjerena na povezanost prekomjerne tjelesne težine i pretilosti s oštećenjima u izvršnom funkcioniranju. Izvršne funkcije odnose se na procese planiranja, donošenja odluka, vrednovanja nagrada i inhibicijsku kontrolu, odnosno kontrolu impulsa (Donofry i sur., 2020). Označavaju sposobnost odabira prikladnog ponašanja na temelju neprestane procjene okolinskih zahtjeva, društvenih normi, prošlog iskustva te trenutnih ciljeva i emocionalnog stanja. Kao glavne sastavnice izvršnog funkcioniranja, čija je disfunkcija povezana s prekomjernom tjelesnom težinom, ističu se samoregulacija i kontrola impulsa potaknutih nagradom, poput hrane ili novca (Donofry i sur., 2020). Prehrana, osim što omogućuje unos hranjivih tvari u organizam, izaziva intenzivne osjećaje zadovoljstva te ju pojedinci doživljavaju kao nagradu. Budući da sama prisutnost slastice ili druge ukusne hrane može potaknuti potrebu za njenom konzumacijom, hrana ima intenzivnu motivacijsku snagu. Također, prisutnost slike hrane ili znaka koji je povezan s hranom (npr. McDonald's logo) može nadjačati fiziološke signale sitosti te potaknuti osobu na ponašanja koja vode konzumaciji hrane. Za podražaje koji potiču na konzumaciju hrane, u daljnjem će se tekstu koristiti terminom znakovi za nagrađivanje (Nummenmaa i sur., 2012). Uzimajući u obzir navedeno, zbog povezanosti prekomjerne tjelesne težine i disfunkcija u regijama za kontrolu impulsa, smatra se da ona dodatno, na neuralnoj razini, otežava održavanje zdravog načina života (Donofry i sur., 2020). Primjerice, pretile osobe pokazuju veću sklonost sudjelovanju u uobičajenim ili pretjerano naučenim ponašanjima, poput prekomjerne konzumacije hrane, jer u prisutnosti poslastica pokazuju izraženiju impulzivnost i otežanu inhibiciju reagiranja (Batterink i sur., 2010). Slično, skloniji su odabrati manje, ali trenutačne nagrade nego veće i odgođene nagrade u usporedbi s osobama zdrave tjelesne težine (Weller i sur., 2008).

Nadalje, oštećenja u izvršnom funkcioniranju vežu se za teškoću funkcionalnim moždanim mrežama uključenima u procese samousmjerenog razmišljanja (npr. nepoštivanja odluke umjerenog konzumiranja hrane), samoregulacije (npr. impulzivne i prekomjerne konzumacije hrane) i homeostatske kontrole (npr. konzumacije hrane iako je osoba sita). Sukladno tome, smatra se da opažanje načina na koji se funkcionalna organizacija mozga razlikuje ili mijenja kod pretilih osoba može pridonijeti razumijevanju etiologije pretilosti, a posljedično i unaprjeđenju prevencije i liječenje (Donofry i sur., 2020). Ovaj je rad usmjeren na prikaz neuronskih mreža i promijenjenog funkcioniranja određenih mozgovnih područja za koje se smatra da su povezani s nastankom ili simptomatikom pretilosti. Iako pretilost i prekomjerna tjelesna težina nisu sinonimi, promjene u neuronskim mrežama pronađene su i kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom i kod pretilih osoba. Na temelju tih nalaza pretpostavlja se da je sama povećana tjelesna težina povezana s promjenama i disfunkcijama u radu određenih mozgovnih područja i mozgovnih struktura.

Neuronske mreže aktivirane u prisutnosti znakova za nagrađivanje

Neuronske mreže povezane s pretilošću prilično su neistraženo područje. Istraživanja polaze od ideje da postoje promjene u mozgovnim područjima koja su uključena u procese samoregulacije i obrade, odnosno vrednovanja nagrada (Donofry i sur., 2020). Pretpostavlja se da neravnoteža u tim moždanim krugovima potiče traženje nagrada, konkretno ukusne hrane, i smanjuje kognitivnu kontrolu, odnosno inhibiciju odolijevanja ukusnoj hrani, što se vezuje uz pretilost (Nummenmaa i sur., 2012). Utvrđeno je da postoji povezanost pretilosti s varijacijama u funkcionalnoj povezanosti spomenutih regija tijekom procesa vrednovanja hrane (Donofry i sur., 2020). Utvrđena je statistički značajna pozitivna povezanost pretilosti i neuralne aktivnosti između mozgovnih regija uključenih u proces vrednovanja, mjerenju prisutnosti znakova za nagrađivanje. Regije koje su identificirane kao uključene u proces vrednovanja sudorzalni striatum, amigdala i inzula, pri čemu je utvrđena povećana neuralna aktivnost između njih. Sukladno tome, pretpostavlja se da osobe s prekomjernom tjelesnom težinom pridaju veću vrijednost znakovima za nagrađivanje nego osobe zdrave tjelesne težine (Nummenmaa i sur., 2012). Pretilost je povezana s povećanom neuralnom aktivnošću između mozgovnih regija uključenih u detektiranje istaknutosti znakova za nagrađivanje, kao što je prednji cingularni korteks (ACC) i prednja inzula (Kullmann i sur., 2013), ali smanjenom aktivnošću u različitim dijelovima čeonog režnja (Batterink i sur., 2010).

Kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom zabilježena je smanjena neuralna aktivnost u području gornje čeone vijuge, srednje čeone vijuge, medijalnog prefrontalnog korteksa i orbitofrontalnog korteksa u usporedbi s osobama sa zdravom tjelesnom težinom. Budući da su navedeni dijelovi frontalnog režnja uključeni u kontrolu impulsa, njihova smanjena neuralna aktivnost može upućivati na sklonost impulzivnosti i slaboj kontroli impulsa u prisutnosti znakova za nagrađivanje kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom (Batterink i sur., 2010). Neuralni odgovor na visokokaloričnu hranu proizlazi iz strijatalne povezanosti s parahipokampalnim regijama i malim mozgom, pri čemu je povezanost najveća kod odraslih osoba s prekomjernom tjelesnom težinom. Nalaz se objašnjava time da osobe s prekomjernom tjelesnom težinom, registrirajući relevantne okolinske znakove poput znakova za nagrađivanje, planiraju ili zamišljaju ponašanja kojima bi došli do ukusne hrane (Carnell i sur., 2014).

Nadalje, stanje gladi ili sitosti utječe na određivanje vrijednosti nagrade, odnosno na vrednovanje hrane zbog postojanja ili nepostojanja motivacije za pristup visoko kaloričnoj hrani (Atalayer i sur., 2014). Nakon razdoblja posta jača je neuralna aktivnost amigdala i ventralnog striatuma te područja odgovornih za motoričko planiranje. Nasuprot tome, nakon konzumacije obroka izraženija je bila neuralna aktivnost između regija uključenih u detektiranje istaknutosti i vrednovanja znakova za nagrađivanje (amigdala, inzula i striatum) i regija uključenih u izvršnu kontrolu i motoričko planiranje (ACC i dorzomedijalni prefrontalni korteks (dmPFC; Atalayer i sur., 2014). Stoga u stanju gladi osoba precjenjuje nagradnu vrijednost hrane zbog neuralne aktivnosti između regija koje su odgovorne za obradu emocija i nagrađivanja te onih uključenih u izvršavanje pokreta. Za razliku od stanja nakon posta, u stanju sitosti izraženija je komunikacija između regija za obradu emocija i nagrada te onih uključenih u samoregulaciju, zbog čega osoba odolijeva konzumaciji hrane. Navedeni su rezultati dobiveni bilježenjem neuralnih odgovora funkcionalnom magnetskom rezonancom (fMR) kod pretilih osoba, pri čemu nije postojala usporedna skupina sa zdravom tjelesnom težinom te je stoga potrebno dodatno istražiti jesu li utvrđeni obrasci funkcionalne povezanosti prisutni i kod osoba zdrave tjelesne težine (Atalayer i sur., 2014).

Neuronske mreže aktivirane u stanju mirovanja

Uz istraživanja koja su usmjerena na povezanost pretilosti i razlika u moždanoj aktivaciji tijekom prikazivanja znakova za nagrađivanje, odnosno hrane, dio istraživanja usmjerio se na ispitivanje te povezanosti dok su sudionici u sta-

nju mirovanja, odnosno ne sudjeluju u zadacima koji uključuju prikazivanje znakova za nagrađivanje pa ne zahtijevaju kontrolu impulsa. Cilj je takvih istraživanja ispitati jesu li pronađene razlike ograničene isključivo na obradu znakova hrane ili su identificirana područja povezana s općenitijim procesima koji se događaju i u odsutnosti podražaja vezanih za hranu (Donofry i sur., 2020). Takvim je istraživanjima pronađeno da je pretilost povezana sa slabijom neuralnom aktivnošću između amigdala i donje čeone vijuge te intenzivnijom aktivnosti između amigdala i inzule. Kad nema znakova za nagrađivanje, pretili osobe pokazuju slabiju povezanost između moždanih područja uključenih u samoregulaciju i onih uključenih u vrednovanje hrane, ali jaču povezanost među regijama koje sudjeluju u vrednovanju (Lips i sur., 2014, prema Donofry i sur., 2020). Sukladno tome, kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom pronađena je intenzivnija neuralna aktivnost između ventromedijalnog prefrontalnog korteksa (vmPFC) i ACC-a, što se povezuje s precjenjivanjem vrijednosti hrane i posljedično intenzivnijim uključivanjem u ponašanja vezana za hranu, poput prejedanja (Contreras-Rodríguez i sur., 2017). Mreža zadanog načina rada označava područje mozga koje uključuje stražnji cingularni korteks (PCC) i ventralni anteriorni cingularni korteks (vACC), a sudjeluje u procesu unutarnjeg nadzora, odnosno signaliziranja stanja gladi ili sitosti (Greicius i sur., 2003). Kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom je, u odnosu na osobe zdrave tjelesne težine, utvrđena intenzivnija neuralna aktivnost između mreže zadanog načina rada i senzomotoričke mreže. Pretpostavlja se da takva aktivnost kod osoba s prekomjernom tjelesnom težinom dovodi do smanjene osjetljivosti na homeostatske pokazatelje gladi ili sitosti te veće osjetljivosti na vanjske znakove, poput znakova za nagrađivanje, što posljedično dovodi do konzumacije hrane iako osoba nije gladna (Doucet i sur., 2018). Navedeno može odražavati teškoće u obradi znakova iz okoline i predstavljati temelj pojačane istaknutosti motivacijskih znakova za nagrađivanje povezanih s hranom. Postojanje neravnoteže u komunikaciji između navedenih regija, čak i kada nisu prisutni podražaji vezani za hranu, može osobe s prekomjernom tjelesnom težinom učiniti prijemčivijima za uočavanje tih podražaja (Lips i sur., 2014, prema Donofry i sur., 2020).

Funkcionalna mrežna organizacija kod osoba s poremećajima hranjenja

Prema epidemiološkim procjenama 40.000 ljudi u Republici Hrvatskoj ima poremećaje hranjenja kao što su kompulzivno prejedanje, anorexia nervosa i bulimia nervosa (Klinika za psihijatriju Sveti Ivan Zagreb, n.d.). Stanje pretilosti ne klasificira se u poremećaje hranjenja, ali je prevalencija psihopatoloških poremećaja za koje je karakteristična tendencija prejedanja povišena među pretili-

lim osobama i općenito osobama prekomjerne tjelesne težine (Kessler i sur., 2013). Također, postotak pretilih pojedinaca unutar populacije s dijagnozom poremećaja hranjenja veći je nego postotak pretilih osoba u općoj populaciji (Villarejo i sur., 2012). Sukladno tome, istraživanje odnosa kliničkih fenotipova prehrane, poput prejedanja i ograničene prehrane, i funkcionalnih moždanih organizacija smatra se vrijednim izvorom za otkrivanje bihevioralnih, neuralnih i psiholoških korelata pretilosti (Donofry i sur., 2020).

Neuralna aktivnost potaknuta zadatkom. Najveći je dio istraživanja u ovom području usmjeren na poremećaje hranjenja koji uključuju komponentu prejedanja, poput bulimije i kompulzivnog prejedanja (Donofry i sur., 2020). Uspoređujući neuralnu aktivnost mozgovnih područja prilikom vidnih i slušnih prehrambenih podražaja između osoba s poremećajem prejedanja i osoba kod kojih prejedanje nije bilo prisutno, utvrđene su razlike u intenzitetu interakcije dorzalnog prednjeg cingularnog korteksa (dACC) srednjom inzulom, malim mozgom i supramarginalnom vijugom. Pri tome je intenzivnija neuralna aktivnost zabilježena kod osoba s poremećajem prejedanja (Geliebter i sur., 2016). Navedena područja sudjeluju u procesima koji omogućuju uporabu homeostatskih i motivacijskih stanja za usmjeravanje donošenja odluka. Pretpostavlja se da njihova aktivacija, kao odgovor na prehrambeni podražaj, pokreće pažnju, motoričke procese pamćenja i želju za hranom, a paralelno se pokreće regulacija hranjenja. Neravnoteža u njihovoj neuralnoj aktivnosti može doprinijeti prejedanju oslabljenom sviješću o gladi, afektu i uzbuđenju (Geliebter i sur., 2016). Kod osoba s dijagnozom bulimije, gdje su prisutne ponavljajuće epizode prejedanja popraćenog kompenzacijskim ponašanjem namijenjenim sprječavanju povećanja tjelesne težine, prisutna je intenzivnija interakcija između prednje inzule i medijalnog orbitofrontalnog korteksa kao odgovor na visokokaloričnu hranu (Kim i sur., 2014). Kod osoba s poremećajem prejedanja utvrđena je veća neuralna aktivnost amigdala s inzulom i putamenom u razdoblju kada su sudionici čekali dopuštenje za konzumaciju određene hrane (Bohon i Stice, 2012) te je zabilježena povezanost intenzivnije aktivnosti dorzolateralnog prefrontalnog korteksa (dlPFC) i ventromedijalnog prefrontalnog korteksa (vmPFC) i češćeg odabira nezdrave kalorične hrane (Neveu i sur., 2018). Suprotno tome, kod osoba s dijagnozom anoreksije, kojoj su svojstvena ekstremna kalorijska ograničenja i niska tjelesna težina, dok je prejedanje rijetko prisutno, nije pronađen takav obrazac interakcije. Stoga se pretpostavlja da je povećana interakcija inzule i orbitofrontalnog korteksa prilikom obrade visokokaloričnih prehrambenih znakova specifična značajka povezana s prejedanjem (Kim i sur., 2014). Na temelju tih nalaza zaključeno je da su poremećaji hranjenja koji uključuju prejedanja povezani s razlikama u radu mozgovnih mreža uključenih u vrednovanje hrane i detektiranje istaknutosti znakova za nagrađivanje. Osim toga, utvrđeno je da signali između mozgovnih regija mogu biti različitog smjera kad uspoređujemo osobe s poremećajima hranjenja i osobe bez njih. Kod osoba s anoreksijom ili bulimijom prilikom kon-

zumacije otopine saharoze detektirana je povećana neuralna aktivnost od ventralnog striatuma do hipotalamusa, dok je kod osoba bez poremećaja prehrane utvrđena neuralna aktivnost u obrnutom smjeru. Veza između hipotalamusa i ventralnog striatuma važna je za postupak regulacije hranjenja te se stoga pretpostavlja da različit smjer aktivacije može utjecati na sposobnost regulacije apetita osoba s poremećajem hranjenja (Frank i sur., 2016).

Neuralna aktivnost u stanju mirovanja. Istraživanja neuralne aktivnosti u somatosenzornim regijama, za poremećaje koji uključuju prejedanje, pokazuju kontradiktorne rezultate, pri čemu su poremećaji hranjenja ponekad povezani s intenzivnijom (Stopyra i sur., 2019), a ponekad sa smanjenom interakcijom somatosenzornih regija (Lavagnino i sur., 2014). Kod sudionika koji imaju bulimiju utvrđena je intenzivnija neuralna aktivnost područja u somatosenzornom i okcipitalnom korteksu te u prekuneusu u odnosu na osobe kod kojih nije prisutan poremećaj hranjenja. Mozgovna područja u kojima su pronađene razlike područja su koja su uključena u afektivne procese, detektiranje istaknutosti prehrambenih znakova, pamćenje i nagrađivanje, poput amigdala, orbitofrontalnog korteksa, inzule, striatuma i hipokampusu (Wang i sur., 2017). Ti rezultati potvrđuju povezanost fenotipova prejedanja i razlika u mreži istaknutosti u stanju mirovanja (Lee i sur., 2014; Stopyra i sur., 2019). Također, navedena područja uključena su u formiranje svijesti o vlastitom tijelu i osjetima te su integrirana u poremećaje hranjenja, što se potencijalno veže za distorzije slike tijela i pojačanu istaknutost prehrambenih znakova (Wang i sur., 2017). Utvrđena je intenzivnija neuralna aktivnost dACC-a i medijalnog orbitofrontalnog korteksa kod sudionika s bulimijom u odnosu na sudionike bez poremećaja hranjenja. Intenzivnija neuralna aktivnost pronađena je između dACC-a i prekuneusa te je bila povezana s ozbiljnim problemima težine (Lee i sur., 2014). Interhemisferna neuralna aktivnost dorzolateralnog prefrontalnog korteksa i orbitofrontalnog korteksa smanjena je kod osoba s dijagnozom poremećaja hranjenja, što posljedično dovodi do teškoća u mozgovnim mrežama uključenima u kognitivnu kontrolu i procese nagrađivanja (Canna i sur., 2017). Konačno, istraživanja pokazuju da je neravnotežom u radu funkcionalnih neuronskih mreža u mozgu povezano specifično ponašanje, odnosno prejedanje, a ne samo stanje pretilosti i prekomjerne tjelesne težine (Donofry i sur., 2020).

Promjene u neuronskim mrežama kod djece

Danas pretilost postaje sve učestalija u dječjoj i adolescentskoj dobi. Statistički podaci pokazuju da na području Europe 29% djece u dobi od sedam do devet godina, odnosno svako treće dijete, ima prekomjernu tjelesnu težinu (WHO, 2023). Takvo stanje predstavlja problem koji utječe na samopouzdanje

djece, ali i zdravstveni poremećaj koji uvelike smanjuje trajanje i kvalitetu života osobe. Također, postoje indikacije da pretilost može ostaviti trajne posljedice na djetetov mozak, koje se mogu odraziti na kasnija postignuća u životu. Stoga su se istraživanja usmjerila na povezanost pretilosti s funkcionalnim mrežnim organizacijama i promjenama u mozgu djeteta (Chaddock i sur., 2010). Utvrđena je povezanost većeg indeksa tjelesne mase s nižim rezultatima na nekim od mjera izvršnih funkcija te smanjenom kortikalnom veličinom u području prefrontalnog korteksa (Wood i sur., 2020). Spomenuta je regija područje mozga koje je ključno za regulaciju izvršnih funkcija koje su uključene u proces kontrole impulsa, što je sukladno nalazima kod odraslih sudionika. Pretpostavlja se da djeca sa smanjenim sposobnostima izvršnog funkcioniranja mogu biti sklonija smanjenoj kontroli impulsa prilikom hranjenja i posljedično se izlažu većem riziku konzumacije visokokalorične hrane niže kvalitete (Schwartz i Brownell, 2007). Ipak, potrebno je provesti longitudinalna istraživanja da bi se utvrdilo prethodi li povišena tjelesna težina smanjenoj debljini korteksa ili obrnuto te postoji li neka treća, posredna varijabla (Wood i sur., 2020). Važno je naglasiti da je u ovom području istraživanja potreban velik oprez prilikom interpretacije rezultata, pogotovo u slučaju djece kao sudionika, jer se može značajno odraziti na pristup djeci s prekomjernom tjelesnom težinom i razvoj predrasuda, posebice u području obrazovanja (Puhl i Heuer, 2009).

Marketing prehrambenih proizvoda jedan je od čimbenika povezanih s intenzivnijom konzumacijom hrane, a potencijalno i s razvojem pretilosti. Cilj je marketinga uspostaviti odanost određenoj marki što ranije, odnosno u djetinjstvu. Budući da su djeca i mladi u današnje vrijeme izloženi velikom broju marketinških promocija prehrambenih proizvoda, pogotovo onih nezdravih koje potiču na konzumaciju, dio istraživača usmjerio se na ispitivanja u tom području (Harris i sur., 2009). Uspoređujući neuralnu aktivnost na podražaj logotipova različitih prehrambenih i neprehrambenih marki, utvrđene su razlike između djece s prekomjernom i zdravom tjelesnom težinom (Bruce i sur., 2013). Razlike su utvrđene u tzv. pogonskim i kontrolnim regijama. Pogonske su regije one povezane s vrednovanjem nagrada (limbička i paralimbička područja), a kontrolne su regije uključene u samoregulaciju i kontrolu impulsa (prefrontalni korteks). Iako je neuralna aktivnost u pogonskim regijama utvrđena u obje skupine djece, kod djece zdrave tjelesne težine zabilježena je intenzivnija neuralna aktivacija u kontrolnim regijama. Odnosno, djeca zdrave tjelesne težine pokazuju veću tendenciju suzdržavanja od konzumacije prehrambenih proizvoda (Bruce i sur., 2013). Navedeni su rezultati u skladu s pretpostavkom da kod djece s prekomjernom tjelesnom težinom postoji disfunkcija u izvršnom funkcioniranju za što se veže otežana samoregulacija unosa prehrambenih proizvoda (Schwartz i Brownell, 2007).

Povezanost prevencija i intervencija za prekomjernu tjelesnu težinu s promjenama u neuronskim mrežama

Ispitujući odnos tjelesne aktivnosti i sposobnosti izvršnih funkcija utvrđeno je postojanje dvosmjerne veze između njih. Pokazalo se da tjelesna aktivnost, pogotovo ako je redovita, ima pozitivan utjecaj na sposobnosti izvršnih funkcija, ali i na pozornost i školski uspjeh djece (De Greeff i sur., 2018). Tjelesna aktivnost pozitivno je povezana s održavanjem sposobnosti izvršnog funkcioniranja, odnosno usporavanjem opadanja u izvršnim funkcijama. Također, pokazalo se da su postojeće sposobnosti u izvršnom funkcioniranju povezane s vjerojatnošću kasnijeg uključivanja u tjelesne aktivnosti; primjerice veća je vjerojatnost da će se osoba slabijih izvršnih funkcija u manjoj mjeri uključivati u tjelesnu aktivnost (Daly i sur., 2015). Osim kod djece i adolescenata, pozitivna povezanost tjelesne aktivnosti i sposobnosti izvršnog funkcioniranja utvrđena je i u starijoj dobi (Daly i sur., 2015). Navedeno se može povezati s teorijom o efektu stropa, prema kojoj osobe s niskim učinkom u zadacima izvršnih funkcija ostvaruju najveće koristi od samo jedne tjelesne aktivnosti, dok osobe s visokim rezultatima u tim zadacima pokazuju manje promjene (Ludyga i sur., 2016).

Ispitujući učinkovitost intervencija za smanjenje tjelesne težine, istraživači su se usmjerili na detektiranje potencijalnih promjena u mrežama zadanog načina rada prije intervencije i nakon nje. Pri tome, obrasci neuralne aktivnosti u mrežama zadanog načina rada variraju ovisno o metodi smanjenja tjelesne težine zbog čega različite intervencije pokazuju različite stupnjeve učinkovitosti u modifikaciji mrežnih funkcija s ciljem podržavanja smanjenja tjelesne težine (Donofry i sur., 2020). Kod osoba koje su bile podvrgnute operaciji želučane premosnice, u usporedbi s osobama koje su kao metodu smanjenja tjelesne težine slijedile uravnotežene nutricionističke dijete, pronađena je intenzivnija neuralna aktivnost između gornjeg tjemenog režnja te inzule, gornjeg sljepoočnog režnja i primarnog motoričkog korteksa. Navedena su područja uključena u interoceptivnu svijest i signaliziranje, odnosno proces slanja signala gladi ili sitosti koji dovode do konzumacije ili prestanka konzumacije hrane. Pretpostavlja se da bi veća neuralna aktivnost mogla upućivati na veću interoceptivnu svijest, odnosno veću svijest o stanju vlastitog tijela (Lepping i sur., 2015). Sukladno tome, zaključeno je da biheviornalne intervencije usmjerene na smanjenje tjelesne težine manje usmjeravaju pozornost na signale gladi, a više na signale sitosti, što predstavlja temelj njihove učinkovitosti. Suprotno tome, razlog je za izostanak

na promjenu kognicije povezane s prehranom i ponašanjem (Lepping i sur., 2015). Sukladno tome, gubitak tjelesne težine povezan je s promjenama u neuralnoj aktivnosti različitih mozgovnih područja tijekom stanja mirovanja, što posljedično može olakšati ili posredovati u poboljšanoj kontroli nad vlastitom prehranom i usmjeravanju tjelesne aktivnosti (Donofry i sur., 2020).

Zaključak

Prekomjerna tjelesna težina i pretilost jedan su od glavnih zdravstvenih problema u svijetu. Olakšan pristup i sveprisutno promoviranje prehrambenih namirnica dodatno potiču na konzumaciju hrane. Nezdrava tjelesna težina povećava vjerojatnost oboljenja od brojnih tjelesnih i psihičkih bolesti te veći rizik od smrti. Nadalje, utvrđena je povezanost prekomjerne tjelesne težine s određenim promjenama u funkcioniranju neuralnih mreža u mozgu koje su uključene u procese izvršnog funkcioniranja. Glavne razlike u funkcionalnim mrežnim organizacijama u mozgu između pojedinaca s prekomjernom tjelesnom težinom i pojedinaca sa zdravom tjelesnom težinom zabilježene su u mreži izvršne kontrole, mreži istaknutosti i mreži zadanog načina rada. Pri tome je kod pretilih osoba utvrđena smanjena neuralna aktivnost u mreži izvršne kontrole te intenzivnija neuralna aktivnost u mrežama istaknutosti i zadanog načina rada. Stoga se pretpostavlja da su osobe s nezdravom tjelesnom težinom osjetljivije na uočavanje vanjskih znakova koji su povezani s prehrambenim proizvodima, sklonije pridavanju veće vrijednosti hrani, manje svjesne homeostatskih znakova gladi ili sitosti te pokazuju tendenciju smanjene kontrole impulsa. Uspoređujući djecu s nezdravom i zdravom tjelesnom težinom pronađeni su slični rezultati.

Otkrivanje promjena na neuralnoj razini koje su prisutne paralelno sa stanjem prekomjerne tjelesne težine može pružiti novi uvid u proces razvoja pretilosti i potencijalno unaprijediti postojeće ili potaknuti razvoj novih djelotvornijih intervencija za prekomjernu tjelesnu težinu. Novi podaci u ovom području mogu objasniti teškoće u neuralnom funkcioniranju koje održavaju stanje pretilosti te razloge zbog kojih se osobe teško ponovno vraćaju na zdravu tjelesnu težinu. Ipak, za razvoj adekvatnih i učinkovitih preventivskih i intervencijskih programa prvo su potrebna dodatna istraživanja koja će utvrditi je li prekomjerna tjelesna težina uzrok ili posljedica promjena u neuronskim mrežama. Konačno, navedeni rezultati upućuju na važnost zdravog životnog stila koji uključuje redovitu tjelesnu aktivnost i umjerenu prehranu jer se nezdravi način života može vrlo negativno odraziti na različite aspekte ljudskog funkcioniranja.

Literatura

- Atalayer, D., Pantazatos, S. P., Gibson, C. D., McOuatt, H., Puma, L., Astbury, N. M. i Geliebter, A.** (2014). Sexually dimorphic functional connectivity in response to high vs. low energy-dense food cues in obese humans: an fMRI study. *NeuroImage*, *100*, 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.054>
- Batterink, L., Yokum, S. i Stice, E.** (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study. *Neuroimage*, *52*(4), 1696–1703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059>
- Bohon, C. i Stice, E.** (2012). Negative affect and neural response to palatable food intake in bulimia nervosa. *Appetite*, *58*(3), 964–970. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.02.051>
- Bruce, A. S., Lepping, R. J., Bruce, J. M., Cherry, J. B. C., Martin, L. E., Davis, A. M., Brooks, W. M. i Savage, C. R.** (2013). Brain responses to food logos in obese and healthy weight children. *The Journal of Pediatrics*, *162*(4), 759–764. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.10.003>
- Carnell, S., Benson, L., Pantazatos, S. P., Hirsch, J. i Geliebter, A.** (2014). Amodal brain activation and functional connectivity in response to high-energy-density food cues in obesity. *Obesity*, *22*(11), 2370–2378. <https://doi.org/10.1002/oby.20859>
- Cawley, J. i Meyerhoefer, C.** (2012). The medical care costs of obesity: an instrumental variables approach. *Journal of Health Economics*, *31*(1), 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2011.10.003>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Hillman, C. H. i Kramer, A. F.** (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, *32*(3), 249–256. <https://doi.org/10.1159/000316648>
- Contreras-Rodríguez, O., Martín-Pérez, C., Vilar-López, R. i Verdejo-García, A.** (2017). Ventral and dorsal striatum networks in obesity: link to food craving and weight gain. *Biological Psychiatry*, *81*(9), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.11.020>
- Daly, M., McMinn, D. i Allan, J. L.** (2015). A bidirectional relationship between physical activity and executive function in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1044–1052. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01044>
- De Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C. i Hartman, E.** (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *21*(5), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595>
- Donofry, S. D., Stillman, C. M. i Erickson, K. I.** (2020). A review of the relationship between eating behavior, obesity and functional brain network organization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *15*(10), 1157–1181. <https://doi.org/10.1093/scan/nsz085>

- Doucet, G. E., Rasgon, N., McEwen, B. S., Micali, N. i Frangou, S.** (2018). Elevated body mass index is associated with increased integration and reduced cohesion of sensory-driven and internally guided resting-state functional brain networks. *Cerebral Cortex*, 28(3), 988–997. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx008>
- Frank, G. K. W., Shott, M. E., Riederer, J. i Pryor, T. L.** (2016). Altered structural and effective connectivity in anorexia and bulimia nervosa in circuits that regulate energy and reward homeostasis. *Translational Psychiatry*, 6(11), 932–941. [10.1038/tp.2016.199](https://doi.org/10.1038/tp.2016.199)
- Geliebter, A., Benson, L., Pantazatos, S. P., Hirsch, J. i Carnell, S.** (2016). Greater anterior cingulate activation and connectivity in response to visual and auditory high-calorie food cues in binge eating: preliminary findings. *Appetite*, 96, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.009>
- Greicius, M. D., Krasnow, B., Reiss, A. L. i Menon, V.** (2003). Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(1), 253–258. <https://doi.org/10.1073/pnas.0135058100>
- Harris, J. L., Pomeranz, J. L., Lobstein, T. i Brownell, K. D.** (2009). A crisis in the marketplace: how food marketing contributes to childhood obesity and what can be done. *Annual Review of Public Health*, 30, 211–225. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.031308.100304>
- Hrvatski zavod za javno zdravstvo.** (2021, 22. srpnja). *Gotovo dvije trećine odraslih osoba u Hrvatskoj ima prekomjernu tjelesnu masu ili debljinu!* Gotovo dvije trećine odraslih osoba u Hrvatskoj ima prekomjernu tjelesnu masu ili debljinu! | Hrvatski zavod za javno zdravstvo (hzjz.hr)
- Kessler, R. C., Berglund, P. A., Chiu, W. T., Deitz, A. C., Hudson, J. I., Shahly, V., Aguilar-Gaxiola, S., Alonso, J., Angermeyer, M. C., Benjet, C., Bruffaert, R., de Girolamo, G., de Graaf, R., Haro, J. M., Kovess-Masfety, V., O'Neil, S., Posada-Villa, J., Sasu, C., Scott, K., Viana, M. C. i Xavier, M.** (2013). The prevalence and correlates of binge eating disorder in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *Biological Psychiatry*, 73(9), 904–914. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.11.020>
- Klinika za psihijatriju Sveti Ivan Zagreb.** (n.d.). *Dnevna bolnica za poremećaje prehrane H(RANA)*. Dnevna bolnica za poremećaje prehrane H(RANA) - Klinika za psihijatriju Sveti Ivan (pbsvi.hr)
- Kullmann, S., Pape, A. A., Heni, M., Ketterer, C., Schick, F., Häring, H. U., Fritsche, A., Preissl, H. i Veit, R.** (2013). Functional network connectivity underlying food processing: disturbed salience and visual processing in overweight and obese adults. *Cerebral Cortex*, 23(5), 1247–1256. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs124>
- Lavagnino, L., Amianto, F., D'Agata, F., Huang, Z., Mortara, P., Abbate-Daga, G., Marzola, E., Spalatro, A., Fassino, S. i Northoff, G.** (2014). Reduced resting-state functional connectivity of the somatosensory cortex predicts psychopathological symptoms in women with bulimia nervosa. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 270–277. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00270>

- Lee, S., Kim, K. R., Ku, J., Lee, J. H., Namkoong, K. i Jung, Y. C.** (2014). Resting-state synchrony between anterior cingulate cortex and precuneus relates to body shape concern in anorexia nervosa and bulimia nervosa. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 221(1), 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2013.11.004>
- Lepping, R. J., Bruce, A. S., Francisco, A., Yeh, H. W., Martin, L. E., Powell, J. N., Hancock, L., Patrician, T. M., Breslin, F. J., Selim, N., Donnelly, J. E., Brooks, W. M., Savage, C. R., Simmons, W. K. i Bruce, J. M.** (2015). Resting-state brain connectivity after surgical and behavioral weight loss. *Obesity*, 23(7), 1422–1428. <https://doi.org/10.1002/oby.21119>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E. i Pühse, U.** (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611–1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- Neveu, R., Neveu, D., Carrier, E., Gay, A., Nicolas, A. i Coricelli, G.** (2018). Goal directed and self-control systems in bulimia nervosa: an fMRI study. *EBioMedicine*, 34, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2018.07.012>
- Nummenmaa, L., Hirvonen, J., Hannukainen, J. C., Immonen, H., Lindroos, M. M., Salminen, P. i Nuutila, P.** (2012). Dorsal striatum and its limbic connectivity mediate abnormal anticipatory reward processing in obesity. *PloS One*, 7(2), 31089–31098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031089>
- Puhl, R. M. i Heuer, C. A.** (2009). The stigma of obesity: a review and update. *Obesity*, 17(5), 941–964. <https://doi.org/10.1038/oby.2008.636>
- Schwartz, M. B. i Brownell, K. D.** (2007). Actions necessary to prevent childhood obesity: creating the climate for change. *Journal of Law, Medicine and Ethics*, 35(1), 78–89. <https://doi.org/10.1111/j.1748-720X.2007.00114.x>
- Stopyra, M. A., Simon, J. J., Skunde, M., Walther, S., Bendszus, M., Herzog, W. i Friederich, H. C.** (2019). Altered functional connectivity in binge eating disorder and bulimia nervosa: A resting-state fMRI study. *Brain and Behavior*, 9(2), 1207–1219. <https://doi.org/10.1002/brb3.1207>
- Svjetska zdravstvena organizacija.** (2022, 4. ožujka). *Međunarodna klasifikacija bolesti* (11. izdanje). ICD-11 (who.int)
- Svjetska zdravstvena organizacija.** (2022, 4. ožujka). *World Obesity Day 2022 – Accelerating action to stop obesity*. World Obesity Day 2022 – Accelerating action to stop obesity World Health Organization (WHO)
- Svjetska zdravstvena organizacija** (2023, 3. ožujka). *Childhood obesity: five facts about the WHO European Region*. Childhood obesity: five facts about the WHO European Region. Childhood obesity: five facts about the WHO European Region
- Villarejo, C., Fernández-Aranda, F., Jiménez-Murcia, S., Peñas-Lledó, E., Granero, R., Penelo, E., Tinahones, F. J., Sancho, C., Vilarrasa, N., de Bernabe, M. M. G., Casanueva, F. F., Fernandez-Real, J. M., Fruhbeck, G., Torre, R., Treasure, J., Botella, C. i Menchón, J. M.** (2012). Lifetime obesity in patients with eating disorders: increasing prevalence, clinical and personality correlates. *European Eating Disorders Review*, 20(3), 250–254. <https://doi.org/10.1002/erv.2166>

- Wang, L., Kong, Q. M., Li, K., Li, X. N., Zeng, Y. W., Chen, C., Qian, Y., Feng, S. J., Li, J. T., Su, Y., Correll, C. U., Mitchell, P. B., Yan, C. G., Zhang, D. R. i Si, T. M. (2017). Altered intrinsic functional brain architecture in female patients with bulimia nervosa. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 42(6), 414–423. <https://doi.org/10.1503/jpn.160183>
- Weller, R. E., Cook Iii, E. W., Avsar, K. B. i Cox, J. E. (2008). Obese women show greater delay discounting than healthy-weight women. *Appetite*, 51(3), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.04.010>
- Wood, C. T., Fuemmeler, B. F. i Perrin, E. M. (2020). Structure and Function in Cross-sectional Work—A Cautionary Tale. *THE Journal of the American Medical Association Pediatrics*, 174(2), 129–130. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.4722>

Abstract

Nowadays, when food is much more available, the prevalence of one of the biggest health problems in the world - obesity - is increasing. In addition to being associated with an increased risk for various physical and mental illnesses, obesity and overweight are associated with deficits in executive functioning, which is reflected in the processes of impulse control, decision making, and reward evaluation. An imbalance occurs in neural networks, whereby excess body weight is associated with weaker neural activity in the executive control network and more intense activity in the salience and default mode networks. Research conducted with children gives very similar results. In addition to the fact that overweight people show different neural activity in certain brain areas during the presentation of food-related stimuli than people of a healthy body weight, differences in neural activity and in the absence of stimuli were found. It is assumed that the existence of an imbalance in communication between certain brain areas, in the absence of food-related stimuli, makes overweight people more receptive to the perception of such stimuli and more prone to engage in food consumption. The goal of research in this area is based on the idea that by detecting the changes that exist in the brain neural networks of overweight people compared to people of healthy weight, it is possible to better intervene and even prevent the occurrence of obesity.

Key words: executive functions, neural networks, obesity, overweight