

## Nadarjeni možgani

NORBERT JAUŠOVEC

## POVZETEK

*Prispevek podaja pregled ugotovitev, ki skušajo razjasniti odnos med delovanjem korteksa in ustvarjalnostjo, inteligentnostjo in nadarjenostjo. Opisana je struktura neokorteksa in tehnike za njegovo preučevanje. Nevralna struktura neokorteksa je opisana s posebnim poudarkom na kolumne in kortikotikalne povezave. Podana je tudi razdelitev neokorteksa na sulkuse, giruse in razdelitev na obe hemisferi. Opisane so metode za preučevanje delovanja neokorteksa, kot so EEG, PET in MRI. Prikazane so klasične ugotovitve o odnosu med hemisferičnostjo in ustvarjalnostjo, prav tako pa tudi novejšje ugotovitve o povezanosti desnohemisfernega razvoja z visoko nadarjenostjo. Nadalje so podane novejšje in potekajoče raziskave, ki nakazujejo, da nadarjeni v procesu reševanja problemov v manjši meri aktivirajo svoje možgane kot povprečni posamezniki. Vse ugotovitve so predstavljene v luči različnih sposobnostnih teorij.*

## ABSTRACT

## GIFTED BRAINS

*The present paper gives an overview of findings describing the relationship between creativity, special talents, intelligence and brain functioning. The structure of the neocortex is outlined, as well as the methods used to investigate neocortical activity related to cognitive processes. The neural structure of the neocortex is described, with special emphasis on columns of various size and corticocortical interactions. A further outline is provided of the subdivision of the neocortex in relation to the most prominent sulci and gyri of each hemisphere and their relation to physiological and psychological functions. A description will be given of the techniques and methods used to measure brain functioning, like electroencephalography, magnetic resonance imaging and positron emission tomography. An overview of studies investigating the relationship between creativity, special talents, intelligence and brain functioning is presented. Some classical studies relating hemisphericity and creativity are summarized, as well as some newer findings proposing that enhanced development of the right cerebral hemisphere may be associated with extreme intellectual giftedness. Further, some recent, and ongoing studies relating the lower mental activity of gifted and creative individuals during problem solving to the non-use of many brain areas not required for the problem at hand will be introduced. The research findings will be discussed in light of various ability theories.*

Marr (1982) ugotavlja, da preden lahko z gotovostjo trdimo, da razumemo nek aparat za informacijsko predelavo, moramo razumeti vsaj tri nivoje tega aparata. Na enem ekstremu je teoretični nivo, v sredi je algoritmični nivo in na drugem ekstremu so podatki o tem, kako se vsa stvar fizično realizira; če govorimo o človeku, so to možgani. Za Andersona (1990) obstajata samo dve ravni, ki sta realni, biološka in algoritmična. Žal sta obe prikriti neposrednemu opazovanju. V psihologiji se je ustalil način, da opazujemo posameznikovo vedenje in nato gradimo nek vmesen nivo, ki bi mu lahko rekli raven modela. Tako opazovanje poteka na različne načine in večinoma pripelje do povsem nasprotnih ugotovitev in modelov. V enem modelu človeka žene seksualni nagon, v drugem gradi konstrukte, s katerimi skuša zmanjšati presenečenja, ki mu jih pripravlja okolje, in tako obvladati življenje. Ker govorim o sposobnosti, eni trdijo, da jo sestavlja 180 delčkov, drugi, da je enovita, zopet drugi, da je ključ vsega hitrost, s katero v spominu najdemo bolj abstraktne pojme, ali kako uspešno sledimo lastnemu razmišljanju (glej Jaušovec, 1994). Da se razumemo, vseskozi se pogovarjamo o isti osebi.

V zadnjem času se je porodila zamisel, da bi lahko uporabili pokazatelje, kot so srčna frekvenca ali krvni pritisk, kot neke vrste vmesne variable, ki bi dodatno osvetlile procese, vpletene v človeško razmišljanje. Podobne aspiracije imajo tudi različne tehnike nevrološkega slikanja. Namen tega prispevka je podati pregled nevropsiholoških ugotovitev o odnosu med nadarjenostjo in možganskim delovanjem.

### **Naši možgani in metode za njihovo preučevanje**

Mountcastle (1975) je na slikovit način opisal, da ljudje zaznamo "to, kaj je tam zunaj" preko nekaj milijonov nevronskih vlaken. Njegovo zamisel bi lahko dopolnil z ugotovitvijo, da so prav ta vlakna odgovorna tudi za vsa človeška dejanja in stvaritve "tam zunaj". V filogenezi so se človeški možgani razvijali z dodajanjem novih delov, ki so človeku omogočili, da je postal dominantna vrsta. Možgansko deblo, limbični sistem in neokorteks so trije ločeni nivoji, ki po Koestlerju (1967) ustrezajo trem bitjem: aligatorju, konju in človeku.

### **Zgradba neokorteksa**

Neokorteks zavzema največji del naših možgan. Njegova površina znaša od 2500-3000 cm<sup>2</sup>, debelina pa le od 1.5-3.0 mm (Kolb in Whishaw, 1996; Nunez, 1995). Videti je, da je neokorteks aparat za difuzijo in mešanje različnih signalov (Braitenberg in Schutz, 1991). Nekateri avtorji so zato neokortikalno delovanje primerjali z nasičenostjo socialnih odnosov v masi ljudi (Bullock, 1980) ali s skupinsko interakcijo med valovi in delci v sistemu vroče plazme (Nunez, 1995). To medsebojno povezanost v neokorteksu omogočajo kortikalni nevroni - piramidalne celice in interneuroni. Skoraj vsaka piramidalna celica pošilja akson v belo substanco. Večina le-teh se nato na neki oddaljeni lokaciji vrača v neokorteks v isti hemisferi (kortikokortikalna vlakna) ali v nasprotni hemisferi (komisuralna vlakna). Poleg tega so številne veje aksona povezane s predeli v radiusu le 3 mm. Povprečno število sinaps na kortikalni nevron je okoli 10<sup>4</sup> (Braitenberg in Schutz, 1991). Neokortikalni nevroni so povezani v modularne kolumne različnih velikosti. Primer takega kolumna je kortikokortikalni kolumn s premerom 0.3 mm in debelino 2-3 mm (Szentagothai, 1979). Takšnih kolumnov je okoli 2 x 10<sup>6</sup>. Nadalje se domneva, da je vsak od teh modulov povezan s še 10 do 100 podobnimi moduli in da tudi on dobiva informacije od podobnega števila modulov (Eccles in

Robinson, 1984). Manjša enota, ki obsega okoli 110 nevronov, je minikolumen s premerom 0.02-0.05 mm, nekoliko večja pa makrokolumen s premerom 0.5-3 mm.

Naslednji nivo v nevrnalni hierarhiji bi lahko opredelili glede na tipe celic, tako imenovana citoarhitektonska raven. Brodman (1909) je vsako hemisfero razdelil na okoli 50 regij. Linearna skala, ki ustreza Brodmanovi razdelitvi, znaša okoli 5 cm in vsebuje okoli  $10^8$  nevronov. Ta razsežnost ustreza spacialni resoluciji EEG-ja z visoko gostoto razporeditve elektrod.

Naslednjo višjo raven predstavlja nagubana površina neokorteksa, ki jo sestavljajo "razpoke" in "grebeni". Globoka razpoka je fisura, bolj plitka pa sulkus. Grebeni so girusi. Na osnovi obojih lahko neokorteks razdelimo na deset področij: frontalni, precentralni, parietalni, okcipitalni in temporalni lobus v vsaki hemisferi. Linearna skala povezana s temi področji, znaša okoli 17 cm. Zadnji nivo sta obe hemisferi z linearno skalo 40 cm.

V ilustracijo velike kompleksnosti neokorteksa, je Nunez (1995) podal naslednje razmišljanje: Če neokortikalno stanje opredelimo z razporeditvijo binarnih stanj vsake enote (na primer 0 in 1), potem je na nivoju desetih lobusov 1024 možnih stanj ( $2^{10}$ ). Na nivoju Brodmanove razdelitve je teh stanj že  $10^{32}$ . To število ustreza velikim zrnom peska, ki bi jih lahko stlačili v volumen zemlje. Na naslednji stopnji - na nivoju makrokolumna je število stanj  $10^{3162}$ , kar si le težko predstavljamo. V primerjavo, število elektronov, ki bi jih lahko stlačili v volumen nam znanega vesolja, znaša okoli  $10^{120}$ .

### Neokortikalna organizacija

Po Kerteszevem (1994) mnenju večina nevro znanstvenikov meni, da so določene funkcije povezane s specifičnimi strukturami v naših možganih. Nekateri menijo, da to velja le za fiziološke funkcije in ne za psihološke (Bullock, 1965).

Najbolj znana in vidna je razdelitev na dve hemisferi. Geschwind in Levitsky (1968) sta opisala pomembne anatomske razlike v številnih človeških možganih. Še večji interes so pritegnile funkcionalne razlike med hemisferama. Gazzaniga (1985) govori o pravi, levo-desno hemisferni maniji, ki jih je povzročilo nekaj laboratorijskih ugotovitev z omejeno možnostjo posplošitve. Sperry je s kolegi (Gazzaniga, Bogen in Sperry, 1962) ugotovil, da bolniki s popolno sekcijo corpusa callosa - ki se izvede, da bi se omejilo širjenje epileptičnega napada - kažejo enotno vedenjsko sliko. Fenomen, ki se pri bolnikih kaže, je, da kadar ima leva hemisfera dostop do informacij, je sposobna te sporočiti okolju v besedni obliki. Nasprotno, desna hemisfera ni sposobna takega besednega sporočanja, čeprav prepozna predmete. Običajen eksperiment, ki so ga v ta namen izvedli z bolniki, je videti nekako takole. Od bolnika se zahteva, da zre naravnost v točko, ki je v središču njegovega vidnega polja. Nato se za nekaj trenutkov v desno vidno polje (leva hemisfera) projicira slika skodelice. Bolnik odgovori, da je videl skodelico. Naslednjič se v levo vidno polje (desna hemisfera) projicira slika žlice. Tokrat bolnik trdi, da ni videl ničesar. Od bolnika se nato zahteva, da z levo roko (desna hemisfera) seže v vrečko in najde predmet, ki ga je pravkar videl. Bolnik izbere žlico. Hemisferično asimetrijo so zasledili tudi v zdravih možganih. Kimurova (1967) je v ta namen izvedla eksperimente dihoničnega poslušanja. Pri tem postopku se pari dražljajev hkrati posredujejo v levo in desno uho (na primer tri in štiri). Od osebe nato zahtevamo, da obnovi čim več števil. Pokazalo se je, da obstaja prednost na levem ušesu (desna hemisfera) za melodije in zvoke iz okolja (žuborenje, lajež psa ipd.), prednost na desnem ušesu se je pokazala za številke, besede, nesmiselne zloge in Morsejevo abecedo. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi avtorji, ki so uporabljali EEG (Glass, 1984) in lateralne očesne gibe (Kocel, Galin, Ornstein in Merrin, 1972). Zamisel, na kateri so

osnovani lateralni očesni gibi, je, da bodo reflektivna vprašanja, ki so vezana na levo hemisfero (besedno procesiranje), povzročila gibe očesa v desno, medtem ko bodo vprašanja, vezana na desno hemisfero (prostorsko procesiranje), povzročila premike očesa v levo.

Kolb in Whishaw (1996) sta eksperimentalne ugotovitve, vezane na hemisferično specializacijo, povzela:

- Funkcije, ki so vezane na levo hemisfero, so: črke, besede, zvoki, vezani na jezik, kompleksni gibi, govor, branje, pisanje in aritmetika.

- Funkcije, ki so vezane na desno hemisfero, so: obrazi, kompleksni geometrijski vzorci, nebesedni zvoki, glasba, taktilno prepoznavanje, Braillova pisava, prostorsko vezani gibi, nebesedni spomin, geometrija, občutek za smer in miselna rotacija oblik.

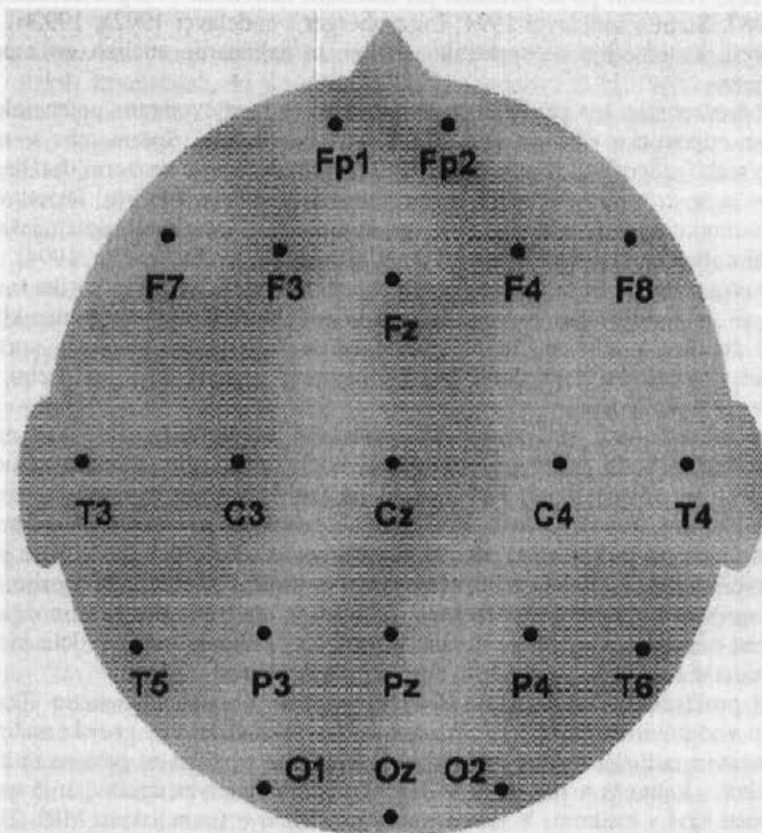
Ti podatki so spodbudili zamisel, da hemisferi predstavljata dva načina razmišljanja. Nekatere interpretacije so se dokaj oddaljile od osnovnih eksperimentalno dobljenih podatkov. Tako Ornstein (1973) levo hemisfero opisuje kot logično, analitično, ki postopno obdeluje podatke. V nasprotju s tem je desna hemisfera zadolžena za naše umetniške talente, podatke obdeluje difuzno, sintetično in celotno. Še korak dlje v interpretacije so šli Torrance, Reynolds, Riegel in Ball (1972). Zanje je desna hemisfera ta, ki razlaga govor telesa, zadolžena je za humor, igro, analogno razmišljanje in ustvarjalnost. Leva hemisfera je vezana na besede, je resna, logična, kritična, sistematična in analitična.

Na nivoju lobusov največ vemo o okcipitalnem delu. Njegova osnovna funkcija je vid. Anatomsko ločena področja v okcipitalnem delu so zadolžena za zaznavo oblike, gibov in barve. Parietalno področje lahko razdelimo na tri funkcijske cone. Somatosenzorna funkcija je locirana v najbolj anteriornem predelu. Superiorna parietalna regija je zadolžena za vodenje rok, udov, glave in oči. Inferiorna parietalna regija sodeluje v prostorski kogniciji. Temporalna lobusa sodelujeta pri analizi slušnih in vidnih informacij, ki omogočajo govor in prepoznavanje oblik. Medialni temporalni korteks je pomemben za dolgotrajni spomin. Frontalni korteks lahko razdelimo na tri področja: motorični in premotorični korteks, ki sta zadolžena za izvajanje in izbiro gibov, in prefrontalni korteks, ki nadzoruje spoznavne procese. Frontalni del možganov je povezan s številnimi spoznavnimi funkcijami, ki so blizu splošnemu faktorju inteligentnosti. Duncan, Burgess in Emslie (1995) menijo, da je frontalni korteks zadolžen za procese, ki so značilni za fluidno inteligentnost. Jarman, Vavrik in Walton (1995) menijo, da je glavna funkcija frontalnega korteksa metakognicija, torej sledenje in nadzorovanje spoznavnih procesov. Milner in Petrides (1984) sta frontalni korteks povezala z divergentnim razmišljanjem.

### Elektrofiziologija in nevrološko slikanje

Elektroencefalogram (EEG) je najenostavnejša metoda za preučevanje električne aktivnosti možgan. V tem procesu se na posameznikovo lobanjo pričvrsti majhno kovinsko ploščico, s katero se meri električna aktivnost nevronov, ki so v spodaj ležečem delu možganov. Ta aktivnost se nato ojača in prikaže na osciloskopu, poligrafu ali digitalizira in posreduje preko računalnika. Trenutno raziskovalce, ki uporabljajo to metodo, tarejo vprašanja, kot so, število in razporeditev elektrod ter parametri, s katerimi bi opisali električno aktivnost. Največkrat se uporablja 16-20 elektrod, ki so razporejene po Jaspersovem (1958) deset-dvajset sistemu (glej sliko 1). Novejši digitalni EEG sistemi pa omogočajo že simultano zajemanje električne aktivnosti na kar 256 kanalih.





EEG meritve zahtevajo zbiranje velikega števila podatkov, ki so v surovi obliki neuporabni. Zaradi tega se uporabljajo različne tehnike, s katerimi se skuša podatke osmisliti (Etevenon, 1986). Najpogosteje se uporablja hitro Fourierjevo transformacijo, s katero se dobi povprečne absolutne moči ali relativne vrednosti moči v različnih frekvenčnih območjih (delta 0.5-4.5 Hz, theta 4.6-7.5 Hz, alfa 7.6-14.0 Hz, beta-1 14.1-28.0 Hz in beta-2 28.1-50 Hz). Večina analiz se osredotoča na alfa-frekvenco (7.5-13 Hz). Zanj namreč podatki kažejo, da je nasprotno sorazmerna z miselno aktivnostjo (glej Donchin, Kutas in McCarthy, 1977; Glass, 1964; Butler in Glass, 1976; Gutierrez in Cabrera, 1988; Nunez, 1995). V zadnjem času se vse bolj uveljavljajo različni pokazatelji nizko determinističnega kaosa (na primer: eksponent Lyapunova  $\lambda_1$ , korelacijska dimenzija D2 ali entropija Kolmogorova - K2). Kaotična dinamika se razlikuje od periodičnih sistemov po tem, da je občutljiva za začetne pogoje, in zaradi tega je ni mogoče napovedovati preko daljših časovnih obdobij (na primer vreme). Čeprav se dve stanji ne razlikujeta veliko, bo po krajšem času razlika ogromna. Z druge strani se kaos razlikuje od povsem slučajnih procesov v tem, da je povsem določen in ima zgradbo. Trenuten interes za nelinearno dinamiko je razvil algoritme, s katerimi je kaos mogoče kvantificirati na osnovi eksperimentalnih časovnih vrst (Grassberger, Procaccia, 1983, 1984, Düнки, 1991). Primer take časovne vrste je lahko aktivacija nevronske mase, ki jo merimo z EEG-jem. Raziskave so pokazale, da so "manj kaotični vzorci" povezani z globokim spanjem ali patologijo, vmesne vrednosti se najdejo v budnem stanju (zaprete

oči), največje vrednosti pa so prisotne pri mentalni aktivnosti (Varghese, Nampoori in Pratap, 1987; Stam s sodelavci 1994; Lutzenberger s sodelavci 1992a, 1992b). Odnosi med merami, ki temeljijo na spektralni analizi, in nelinearno analizo, so zaenkrat še nerazjasnjeni.

Podobna tehnika kot pri EEG-ju se uporablja tudi za evocirane potenciale. To so kratkotrajni odgovori v EEG-vzorcu na nek senzorni dražljaj. Spremembe so neznatne in jih je le težko razpoznati iz celotnega EEG-ja. Zaradi tega se senzorni dražljaji dajejo zapovrstjo in se iz tega izračunajo povprečne spremembe v EEG-ju. Raziskovalci se najbolj zanimajo za tako imenovane kasne komponente evociranih potencialov, ki se kažejo 100 mili sekund potem, ko je bil dražljaj posredovan (Detterman, 1994).

Osnovni problem EEG meritev so napake, ki nastanejo zaradi motorike (na primer utripanje oči, požiranje sline, premiki čeljusti in podobno). Kljub tem pomanjkljivostim ima EEG številne prednosti. Je še zmeraj edina metoda, ki omogoča spremljanje možganske aktivnosti v dejanskem času. Pomembno je tudi, da je za osebo povsem neškodljiva in dokaj poceni.

Nove metode, kot sta pozitronska emisijska tomografija (PET) in magnetna resonanca (MRI), bodo gotovo v prihodnosti imele velik vpliv na naše razumevanje inteligentnosti in ustvarjalnosti. PET temelji na značilnosti pozitronskih radioizotopov (Metter in Hanson, 1994). V času sprejemanja izotopa, ki je omejen na polovico razpadne dobe izotopa (nekaj minut do 30 minut), oseba rešuje nalogo, ki ji jo je posredoval eksperimentator. Nato osebo namestimo v obroč s senzorji, ki merijo stranske produkte razpada radioaktivnega izotopa. Zamisel je, da bodo tisti deli možgan, ki so bolj aktivni, porabili več glukoze in tako postali bolj radioaktivni, kot deli, ki so manj aktivni. Podatki se zbirajo po predelih ali prerezhih za celotne možgane.

MRI proizvede sliko struktur, ki kažejo razlike v nasičenosti tkiva. Temelji na značilnosti vodikovih atomov, ki se v magnetnem polju vedejo na svojski način. Kadar se vanje usmeri radijske valove oddajajo valove, ki so značilni za gostoto in kemijsko sestavo tkiva, v katerem se nahajajo. MRI lahko uporabljamo za ugotavljanje sprememb v nasičenosti krvi s kisikom. V tem primeru govorimo o funkcijskem MRI (Binder in Rao, 1994). Najnovejši dosežek na področju možganskega skeniranja je magnetnoencefalogram (MEG), ki meri magnetna polja v možganih (Pascual-Marqui, Michel in Lehmann, 1994). Prednost MEG-a je, da s to tehniko lahko določimo izvor magnetne aktivnosti in tako ugotovimo aktivnost na nivoju sulkusov.

### **So razlike v sposobnosti povezane z razlikami v možganih?**

Gall in Spurzheim sta pred skoraj dvema stoletjema domnevala, da so anatomske razlike v možganih povezane s osebnostnimi potezami, kot so duhovitost, vzročnost, samozavest in številne druge. Nekatere teh potez lahko povežemo z inteligentnostjo (Detterman, 1994, Kolb in Whishaw 1995). Njuna zamisel je bila, da razlike v obliki lobanje - majhne izbokline in vdrtine - kažejo na velikost možganov v tem področju. Na ta način kažejo na bolj ali manj izrazito osebnostno potezo. Da bi lahko določili te izbokline, sta izdelala metodo, ki sta jo imenovala kranioskopija. Na glavo oseb sta poveznila instrument, podoben temu, ki ga imajo frizerji za izdelavo trajne, in tako izmerila posamezne izbokline in vdrtine. Detterman navaja, da so mu dvakrat "izmerili možgane" in da so bili dobljeni rezultati prav tako zanesljivi, kot ti dobljeni na IQ-testu.

Današnje metode so seveda mnogo bolj dodelane, kot v času Galla in Spurzheima; kljub temu je težko odgovoriti na zgoraj zastavljeno vprašanje.

## Inteligentnost

Večina raziskav, ki je skušala povezati velikost možgan z inteligentnostjo, poroča o dokaj nizkih korelacijah, ki se gibljejo okoli vrednosti 0.35 (Willerman, Schutz, Rutledge in Bigler, 1992). Podobni so rezultati, ki temeljijo na preučevanju vojaških veteranov z možganskimi poškodbami. Tudi najhujše poškodbe možgan so rezultirale v zmanjšanju IQ za največ 10 točk (Grafman s sodelavci, 1988). Če bi se osredotočili na te ugotovitve, bi lahko rekli, da inteligentnost nima veliko skupnega z našimi možgani.

Več informacij so dale raziskave, ki so uporabljale metodo EEG-ja. Na tem področju je največ storil Giannitrapani (1985). Osnovna ugotovitev njegovih raziskav je, da je verbalna inteligentnost povezana z EEG-aktivnostjo v frekvenčnem območju 13 Hz. To je veljalo za večino od 16 področij merjenja (sistem deset-dvajset). Najizrazitejše povezave so se pokazale v centralnih regijah in premotornem korteksu, najnižje pa v okcipitalnem predelu. Giannitrapani je nadalje ugotovil, da je bila nizka beta aktivnost povezana s sposobnostjo numeričnega razmišljanja. Mnogo manj jasna je interpretacija teh podatkov. Ker je frekvenčno območje 13 Hz področje alfa-frekvence, ki je povezana z relaksiranim budnim stanjem možgan, bi lahko sklepali, da najbolj aktivni možgani niso nujno najbolj inteligentni.

Raziskave, ki so uporabljale evocirane potenciale, so nakazale negativno povezavo (-0.15 do -0.90) med tako imenovanimi poznimi komponentami (P300) in inteligentnostjo (Ertl, 1971; Shucard in Horn, 1973). Negativne korelacije pomenijo, da imajo osebe z daljšimi latencami nižji IQ. Zanimive so tudi ugotovitve, o katerih poroča Hendrickson (1982), ki je koreliral dolžino krivulje evociranega potenciala z inteligentnostjo. Govori o nitni meri - dolžina niti, ki jo dobiš, če jo položiš na krivuljo evociranega potenciala. Korelacija z inteligentnostjo in nitno mero znaša okoli 0.80. Podobno mero sta uporabila Barrett in Eysenck (1994). Preštevala sta število prehodov krivulje evociranega potenciala preko x-osi, kar sta imenovala ničelna prečkanja. Ugotovila sta, da IQ 105 ustreza 2.9 ničelnim prečkanjem, IQ 107 ustreza 3.5 ničelnim prečkanjem in IQ 110 ustreza 3.9 ničelnim prečkanjem.

Vse te ugotovitve seveda kažejo na to, da je električna aktivnost možgan povezana z inteligentnostjo. Žal pa lahko le domnevamo o vzrokih in razlagah, ki tičijo za temi korelacijskimi odnosi. Pomenijo krajše latence, da inteligentni hitreje obdelujejo podatke? So daljše krivulje evociranih potencialov znak bolj kompleksne aktivnosti možgan inteligentnih posameznikov?

## Ustvarjalnost in nadarjenost

Raziskovalce, ki so se ukvarjali z odnosom med ustvarjalnostjo in možgansko aktivnostjo, je najbolj pritegnila hemisferičnost - dejstvo, da je vsaka od obeh hemisfer specializirana za določeno vrsto in način obdelave podatkov. S teoretičnega vidika je takšno sklepanje razumljivo. Veliko avtorjev je ustvarjalnost opisalo kot združevanje nasprotij. Rothenberger (1983) je to imenoval januzijski proces, hkratno razumevanje nasprotnih in antitetičnih zamisli. Beseda je povzeta po rimskem bogu Janusu. Ta bog je hkrati gledal v dve nasprotni smeri. Koestler (1981) je predlagal termin bisociacije, ki opisuje ustvarjalnost kot združevanje nepovezanih struktur, ločenih zamisli, dejstev in zaznav v enovitih možganih. Prav zaradi tega sta bili dve hemisferi, ki sta predstavljali dva načina kognitivnega procesiranja, idealna nevropsihološka razlaga ustvarjalnosti. Hoppe je v nevroloških terminih opisal Koestlerjevo bisociacijo kot "hemisferično bisociacijo, sintezo dveh različnih nevroloških nivojev" (Hoppe 1989, str. 253). Nje-

gova razlaga temelji na zamisli Boga in Boga (1969), ki sta ustvarjalnost v odnosu do dveh hemisfer opisala kot proces, ki poteka v dveh fazah. V prvi fazi je le malo ali nič interakcije med obema hemisferama. Vsaka hemisfera neodvisno od druge razvija svoje procese. V drugi fazi se interakcija poveča. Slikovitost, ki se je razvila v desni hemisferi, se realizira preko bolj logične leve hemisfere.

Še ena značilnost ustvarjalnega procesa - fazi inkubacije in iluminacije, v katerih se pozornost loči od problema in se rešitve spontano pojavljajo - je potrdila raziskovalce v domnevi, da je ustvarjalnost desnohemisferni proces. Nadaljno osnovo za te domneve najdemo tudi v psihoanalitičnih razlagah ustvarjalnosti. Za Freuda (1925) je ustvarjalnost izraz potlačenih osebnih izkušenj, ki so sestavina osebne podzavesti. Z druge strani Jung (1933) razume ustvarjalnost kot proizvod arhetipov, ki so srž kolektivne podzavesti.

Obstajata dve razlagi o odnosu med hemisferičnostjo in ustvarjalnostjo. Po eni je ustvarjalnost povsem desnohemisferni proces (Gowan, 1979), po drugi pa gre za izmenjavo levo in desno hemisfernih procesov (Bogen in Bogen, 1969; Myers, 1982; Torrance 1982). Raziskave so le delno potrdile te teoretične domneve. Martindale, Hines, Mitchell in Covello (1984) so ugotovili, da ne obstaja nek splošen odnos med desnohemisferno aktivnostjo merjeno z EEG-jem, in ustvarjalnostjo. Razlike med bolj in manj ustvarjalnimi posamezniki so se pokazale le v fazah ustvarjanja in ne v fazah relaksiranosti. Osnovna pomanjkljivost teh zgodnjih raziskav je, da so uporabile le majhno število elektrod, manj kot 4, in da so se omejile le na parietalno-okcipitalno področje (Petsche, Pockberger in Rappelsberger, 1986).

Falcone in Loder (1984) poročata o pomembni korelaciji (0.58) med očesnimi gibi v levo, ki bi naj bili značilni za večjo desnohemisferno aktivacijo, in dosežki na ustvarjalnostnih testih. Dokaze za večjo desnohemisferno aktivacijo ustvarjalnih posameznikov so dobili tudi v študijah, kjer so hemisferičnost ugotavljali z vprašalniki (Al-Sabaty in Davis, 1989). Z druge strani pa je Katz (1983), ki je ugotavljal razlike med bolj in manj ustvarjalnimi posamezniki na testih dihotečnega poslušanja, ugotovil, da so bolj ustvarjalni posamezniki kazali bolj levohemisferno aktivnost.

V novejšem času je povezanost med desnohemisferno aktivnostjo in ustvarjalnostjo ter nadarjenostjo dobila novo teoretično podporo. V okviru te teorije se ustvarjalnost razume kot "patologijo leve hemisfere". To domnevo podirajo številni eksperimenti in ugotovitve. Gazzaniga (1985) je razlike v inteligentnosti pripisal negativnim vplivom, ki jih ima okolje na naše možgane. Cranberg in Albert (1988) ugotavljata, da obstajajo tri značilnosti, ki povezujejo nadarjene šahiste, kot sta Fischer in Capablanca, skladatelje, kot sta Mozart in Rossini, in matematike, kot je Gauss. Za vse je značilno, da so imeli izvirne zamisli že v obdobju pred puberteto. Nadalje so vsa tri področja šah, glasba in matematika dominirana s posamezniki, ki so moškega spola, in nazadnje vsa tri področja zahtevajo visoko stopnjo neverbalnega procesiranja. Hormonalna teorija Geschwind in sodelavcev (Geschwind in Behan, 1982, Geschwind in Galaburda 1987) bi lahko razložila nekaj teh značilnosti. Po njihovi teoriji je prisotnost testosterona, ki ga proizvaja moški fetus v ženskem telesu, kriva za počasnejši razvoj leve hemisfere, ki se kompenzira z razvojem desne hemisfere. V ženskem fetusu ta kompenzacijski proces ni potreben. V seriji eksperimentov je Benbowova (1986, 1988) ugotovila povezanost med visoko stopnjo inteligentnosti in levoročnostjo, imunskimi težavami in miopijo. Vse opisane značilnosti lahko smatramo kot stranske proizvode izrazitejšega razvoja desne hemisfere. V eni od EEG raziskav se je to le delno potrdilo (O'Boyle, Alexander in Benbow, 1991). V stanju mirovanja so matematično nadarjeni posamezniki kazali večjo aktivnost leve hemisfere in ne desne, kot so avtorji domnevali. V fazah reševanja nebesedne naloge se je pri matematično nadarjenih posameznikih pokazalo pomembno



zmanjšanje alfa-frekvence na desni hemisferi, medtem ko pri povprečno sposobnih ni prišlo do podobnih sprememb. Pri reševanju besedne naloge se med obema skupinama niso pokazale pomembne razlike. Podobne ugotovitve podajajo tudi raziskave O'Boylea, Alexanderja in Benbowe (1995) ter Jaušovca (1997 a). Analiza indeksov asimetrije v raziskavi Jaušovca je pokazala, da nadarjeni posamezniki v obdobjih mirovanja kažejo večjo aktivnost leve hemisfere kot povprečni posamezniki. V času reševanja problemov pa so nadarjeni posamezniki kazali manj izrazito levohemisferno aktivnost kot povprečni posamezniki. Razlike v indeksih asimetrije med nadarjenimi in povprečnimi so bile povzročene z močno povečanim delovanjem leve hemisfere pri povprečnih posameznikih in v manjši meri z večjo aktivnostjo desne hemisfere nadarjenih posameznikov. Zaradi tega bi le težko trdili, da je ta raziskava potrdila domnevo, da je nadarjenost povezana z bolj razvito desno hemisfero. V drugi seriji eksperimentov se je pokazalo, da tudi v času reševanja med nadarjenimi in povprečnimi ni pomembnih razlik v aktivaciji obeh hemisfer (Jaušovec, 1996). O podobnih ugotovitvah poroča tudi raziskava Haierja in Benbowa (1995), ki sta uporabila pozitronsko emisijsko tomografijo (PET), in raziskava Shaywitza s sodelavci (1995), ki so uporabili funkcijsko magnetno resonanco (fMRI).

Nedavno so številne raziskave pokazale, da obstaja negativna korelacija med možgansko aktivnostjo, ki je prisotna v času reševanja problemov, in inteligentnostjo ter nadarjenostjo. V tej smeri kažejo že eksperimenti Giannitrapanija (1985), ki sem jih že omenil, razen tega pa tudi EEG-meritve na šahistih pred samo igro. Pokazalo se je, da ti kažejo visoko stopnjo alfa aktivnosti (Malkin, 1982). Bolj sistematično so te ugotovitve preučili Haier s sodelavci (1988, 1992), ki so v ta namen uporabili pozitronsko tomografijo. Pokazalo se je, da visoko sposobni posamezniki v času reševanja problemov kažejo nižjo stopnjo metabolizma kot njihovi manj sposobni vrstniki. Te ugotovitve kažejo na to, da visoko sposobnim posameznikom ni potrebno tako trdo delati, da bi rešili zastavljene probleme. Do podobnih ugotovitev z metodo EEG so prišli tudi Krause (1992), Neubauer, Freudenthaler in Pfurtscheller (1995) in Jaušovec (1996, 1997 a, 1997 b). Skupna ugotovitev teh raziskav je, da v času reševanja problemov nadarjeni in bolj inteligentni posamezniki kažejo več alfa-aktivnosti kot povprečno sposobni posamezniki. Raziskave so nadalje pokazale, da nadarjeni posamezniki kažejo nižje vrednosti entropije (mere nizko determinističnega kaosa), ki kažejo na manj kompleksno aktivacijo nevrnske mase, v času reševanja aritmetičnih nalog in deduktivnega sklepanja.

Čeprav so ti rezultati plod različnih nevropsiholoških tehnik in meritev, kažejo, da intelektualno kompetentni posamezniki, ko rešujejo probleme, v manjši meri aktivirajo svoje možgane. Interpretacije, ki so jih avtorji podali za ta fenomen, se dokaj razlikujejo.

Haier s sodelavci (1988) je predlagal efektivnostno razlago: "Inteligentnost ni odvisna od tega, kako trdo možgani delajo, ampak kako učinkoviti so. Ta učinkovitost lahko izvira iz neuporabe predelov možgan, ki so irelevantni za uspešno reševanje nalog in bolj osredotočeno uporabo tistih predelov, ki so relevantni za posamezno nalogo." (Haier s sodelavci, 1992, str. 415). Podobno razlago so podali tudi O'Boyle, Benbow in Alexander (1995). Njuna raziskava je pokazala, da nadarjeni dečki razpolagajo s sposobnostjo, da aktivirajo ali deaktivirajo predele možgan, ki so povezani ali niso povezani z reševanjem določene naloge. V fazah besednega procesiranja so nadarjeni aktivirali frontalne predele korteksa, medtem ko so povprečni aktivirali temporalne predele. Z druge strani sta Haier in Benbowova (1995) ugotovila, da pri reševanju matematičnih problemov nadarjeni dečki v večji meri aktivirajo temporalne dele korteksa. Pri nadarjenih deklicah ta razlika ni bila pomembna.

Za Krauseja (1992) je vzrok za opisane razlike sposobnost nadarjenih, da bolje strukturirajo problemski prostor, da imajo bolj urejene zamisli. Krause je nadalje domneval, da se ta urejenost kaže v zmanjšani kompleksnosti miselnih shem zaradi njihove večje abstraktnosti. Raziskava Jaušovca (1996) te ugotovitve ni potrdila. V tej raziskavi so primerjave EEG-ja med nadarjenimi in povprečnimi posamezniki, ki so memorirali liste besed in slik, ki so omogočale ali niso omogočale klasifikacijo v bolj abstraktne kategorije, pokazale, da so v obeh primerih nadarjeni izkazali večjo alfa-frekvenco (manjšo mentalno aktivnost) kot povprečni posamezniki.

Noveljša raziskava Jaušovca (1997 b) se je ukvarjala z vprašanjem, ali bi hitrejša mentalno procesiranje nadarjenih lahko razložilo opažene razlike v alfa-frekvenci. Po tej hipotezi bi bilo za uspešno reševanje problemov, ki ga kažejo nadarjeni kriva hitrost procesiranja in ne učinkovita izbira predelov možgan, ki so pomembni za reševanje problemov. To domnevo podpirajo tudi raziskave individualnih razlik v sposobnostih, ki uporabljajo metodo kognitivnih korelatov. Hunt (1978) v povzetku številnih raziskav ugotavlja, da posamezniki z višjo verbalno inteligentnostjo hitreje v dolgotrajnem spominu najdejo bolj abstraktne pojme. Raziskava Jaušovca te hipoteze ni potrdila. Nadarjeni posamezniki so v primerjavi s povprečnimi pokazali nižjo mentalno aktivacijo - to se je pokazalo v manjšem relativnem upadu alfa-frekvence med stanji mirovanja z odprtimi očmi in stanji reševanja problemov, prav tako pa v nižjih merah entropije Kolmogorova. Razlike med nadarjenimi in povprečnimi posamezniki so bile izrazitejšje za bolj kompleksne naloge, ki so zahtevale aktivacijo kratkotrajnega spomina, proporcionalnega razmišljanja in aritmetičnih operacij, kot za enostavnejše naloge, ki so zahtevale le hitrost procesiranja. Iz te raziskave lahko sklepamo, da hitrejša procesiranja ni glavni vzrok za nižjo mentalno aktivnost nadarjenih. Verjetneje je, da nadarjeni aktivirajo le tiste predele možganov, ki so relevantni za reševanje določene naloge. To potrjujejo tudi ugotovitve, da so bile razlike najizrazitejše v frontalnem delu korteksa, ki ga avtorji povezujejo z reševanjem problemov, metakognicijo in splošno inteligentnostjo (Duncan, Burgess in Emslie, 1995). Dejstvo, da so bile razlike v alfa-frekvenci najizrazitejše za naloge, ki zahtevajo uporabo kratkotrajnega spomina, nadalje kažejo na sposobnost nadarjenih, da bolj učinkovito aktivirajo možganske predele. V tej smeri kažejo tudi številne ugotovitve v različah področnega znanja med reševalci strokovnjaki in laiki na številnih področjih (Chi in Glasser 1985, Rohwer in Thomas 1989). Strokovnjaki se ne razlikujejo od začetnikov le po količini znanja, ampak tudi po tem, kako dostopno je to znanje in kako je organizirano. Nadaljno potrditev učinkovitostne teorije najdemo tudi v dejstvu, da so nadarjeni posamezniki za reševanje različnih problemov izkazali podobno stopnjo kompleksnosti aktivacije nevrnske mase. Z druge strani so povprečni posamezniki kazali različno kompleksnost aktivacije. Razlike so bile predvsem izrazite na desni hemisferi. Raziskave so pokazale, da bolj nadarjeni posamezniki razpolagajo z boljšim metakognitivnim znanjem kot povprečni posamezniki, ki ponavadi ne spreminjajo strategij reševanja v odvisnosti od zahtev problema (Jaušovec, 1994). Povedati je treba, da je takšno variranje strategij smiselno, če to problemi zahtevajo, če se med seboj razlikujejo. V pričujoči raziskavi so bili vsi problemi zaprtega tipa in ni bilo potrebe po spreminjanju načinov reševanja, na katerega lahko iz razlik v merah entropije sklepamo pri povprečnih posameznikih.

Mnogo manj izrazite so razlike med nadarjenimi in povprečnimi posamezniki v EEG-ju posnetem v mirovanju oseb (zaprte ali odprte oči). Lutzenberg s sodelavci (1992 a) je z nelinearno analizo večkanalnega EEG-ja ugotovil, da so osebe z višjim IQ kazale v fazah mirovanja bolj kompleksne vzorce možganske aktivnosti (dimenzionalna kompleksnost) kot osebe z nižjim IQ. O podobnih ugotovitvah poroča tudi Jaušovec (1997 a). V stanjih relaksiranosti so nadarjeni posamezniki kazali manj alfa-aktivnosti

(večja mentalna aktivnost) kot povprečni posamezniki. Ta razlika je bila predvsem izrazita na levem in desnem okcipitalnem področju in na levem srednjem frontalnem področju. V drugih študijah se ta razlika ni pokazala. V zadnji raziskavi, kjer je bilo vključenih preko 100 oseb, se tako v mirovanju z zaprtimi očmi, kot tudi v mirovanju z odprtimi očmi niso pokazale nobene razlike med nadarjenimi in povprečnimi posamezniki, ne pri merah alfa-frekvence, kot tudi ne pri pokazateljih determinističnega kaosa (entropiji Kolmogorova). Te ugotovitve kažejo, da v mirovanju ni razlik v možganski aktivaciji med povprečnimi in nadarjenimi posamezniki. Ta slika se drastično spremeni, ko se eni in drugi lotijo reševanja problemov.

### **Ali obstaja razlika med ustvarjalnostjo in inteligentnostjo?**

Za boljše razumevanje sposobnosti je pomembno vedeti, kakšne procese ljudje uporabljajo, kadar rešujejo različne vrste problemov. V psihologiji obstajajo številne študije, ki so se in se še zmeraj ukvarjajo s tem vprašanjem. Pri tem uporabljajo različne metode, celo različna imena za enake ali podobne psihološke fenomene. Na primer faktorске teorije so se ukvarjale z razlikami med inteligentnostjo in ustvarjalnostjo, medtem ko so kognitivno usmerjene šole govorile o razlikah pri reševanju dobro in slabo opredeljenih problemov.

Osnovna strategija, ki jo ljudje uporabljamo za iskanje poti skozi dobro opredeljen problemski prostor, je analiza sredstvo-cilj (Ernst in Newell, 1969). Za Andersona (1993) je to osnovni miselni proces sploh. Ta proces določata dve sestavini, zmanjševanje razlik in zastavljanje vmesnih ciljev. Zmanjševanje razlik pomeni, da izberemo takšne operacije, ki bodo proizvedle stanja, ki so bližja, bolj podobna temu, kar želimo doseči. Vmesna stanja v tem procesu redukcije imenujemo vmesni cilji. Simon (1979), Chi in Glaser (1985) domnevajo, da na ta način ljudje rešujemo vse probleme, tudi slabo definirane. Pri slabo definiranih si izberemo nek manjši problem (npr. pišemo esej o ustvarjalnosti in se lotimo najprej le enega odstavka ali poglavja), ki ga rešujemo, kot da bi bil dobro definiran. Iz te razlage lahko sklepamo, da je reševanje dobro definiranih problemov osnovno in je ustvarjalnost le poseben primer. Povsem nasprotno stališče zastopajo Voss, Sherman, Tyler in Yengo (1983) ter Doerner (1983). Menijo, da ima ustvarjalno reševanje širšo možnost uporabe kot strategija sredstvo-cilj, ki je po njihovem uporabna le za skupino dobro opredeljenih problemov z natančno določenim ciljem.

Tega vprašanja sta se z uporabo srčne frekvence kot pokazatelja razmišljanja lotila Jaušovec in Bakračević (1995). Kuhman, Lachnit in Vaitl (1985) ter Manuck, Krantz in Polefrone (1985) so ugotovili, da je tipična reakcija pri senzorni deprivaciji ali razmišljanju tahikardija. Z druge strani je zaznavanje in sprejemanje dražljajev povezano z znižano srčno frekvenco. Jaušovec in Bakračević sta ugotovila, da se pri reševanju dobro definiranih problemov kaže kontinuiran dvig srčne frekvence, medtem ko pri reševanju problemov z vpogledom pride do nenadnega dviga srčne frekvence. Te ugotovitve se skladajo z opisi samega reševanja. Dobro definirani problemi se rešujejo postopno, medtem ko je za probleme z vpogledom značilna nenadna iluminacija. Srčna frekvenca pri reševanju problemov divergentne produkcije (takšne probleme srečamo na ustvarjalnostnih testih) in reševanju ustvarjalnih problemov je bila manj urejena, kazali so se številni dvigi in padci v srčni frekvenci. Ti bi lahko kazali na reševanje problemov s strategijo preverjanja hipotez. V drugi študiji je Jaušovec (1997 c) uporabil EEG-metodologijo za sledenje miselnih procesov. V raziskavi je bilo reševanje problemov razdeljeno na številne vmesne procese (na primer: branje, izbira načina reševanja, zbiranje informacij o problemu, reševanje, vrednotenje itd.), ki bi jih v grobem

lahko opredelili kot pripravo na reševanje in samo reševanje. Primerjava EEG-meritev je pokazala, da so ustvarjalni problemi bolj zahtevni v pripravljalni fazi, kot so dobro definirani problemi. Osebe so se bolj naprezale, da bi razumele zahteve slabo opredeljenih problemov. To je razumljivo, saj je prav značilnost slabo opredeljenih problemov, da se ne ve vnaprej, kakšnemu cilju se približujemo. Predno se sploh lotimo takega problema, moramo izbrati nek cilj in ga na nek način opredeliti. Pri dobro definiranih problemih je cilj določen že v sami opredelitvi problema. Nadalje se je pokazalo, da je samo reševanje dobro definirane problema bolj zahtevno, kot so vse faze v reševanju slabo opredeljenih problemov. To ugotovitev bi le težko razjasnili. Reševanje dobro definirane problema zahteva, da najdemo pot skozi nek problemski prostor. Pri tem moramo pri vsakem koraku hraniti v kratkotrajnem spominu vse podatke o problemu, vrednotiti, ali nas zastavljeni korak približuje cilju in ali je ta korak zakonit, glede na zahteve problema. Vsi ti procesi bremenijo delovni spomin, ki ima omejeno kapaciteto. Nekateri avtorji pripisujejo dvig in padeč v alfa-frekvenci stopnji pozornosti, ki je vezana na naš delovni spomin. Interpretacija, ki se iz tega nakazuje, je, da reševanje dobro definiranih problemov bremeni predvsem naš delovni spomin. Z druge strani ustvarjalno reševanje poteka v bolj sproščenem mentalnem stanju, kar je lahko odraz procesov, ki niso v fokusu pozornosti. Ta razlaga je seveda dokaj spekulativna in jo bo potrebno še nadalje preveriti.

### **Dejstva in domneve**

Pričujoči pregled ugotovitev o odnosu med možgani in sposobnostjo je prav gotovo sprožil številna vprašanja. Vprašanja, ki morda nikoli ne bodo dobila odgovora. Vsekakor pa je pregled raziskav posredoval tudi nekaj ugotovitev, ki nam omogočajo boljše razumevanje inteligentnosti in ustvarjalnosti. Naj omenim le nekatere. Ugotovitev, da nadarjeni posamezniki uporabljajo le za nalogo relevantna področja možgan, nakazuje, da je njihov način razmišljanja "manj kaotičen" in "bolj enostaven". Takoj se zastavi vprašanje, če to velja tudi za ustvarjalnost. Lahko bi rekli, da vsaj začetne faze reševanja ustvarjalnih problemov zahtevajo bolj kompleksno aktivacijo nevrnske mase.

Prezgodaj je še, da bi lahko trdili, da nevropsihološke ugotovitve podpirajo to ali ono teorijo inteligentnosti. Na primer modularna teorija Gazzanige (1985) bi podpirala zamisel Gardnerja (1983) o sedmih vrstah inteligentnosti, ki so povsem neodvisne druga od druge. Z druge strani pa videnje neokorteksa kot instrumenta za difuzijo in mešanje signalov podpira idejo o le eni inteligentnosti, ki bi lahko bila zajeta v Spermanovem (1927) g-faktorju. Kaj pa hemisferičnost in fluidna ter kristalizirana inteligentnost, ki jo zagovarja Cattell (1971)?

Raziskovalci, ki se ukvarjamo z razlikami v sposobnostih, smo večkrat razočarani nad ugotovitvijo, da še tako velike razlike, ki jih opazamo na vedenjskem nivoju (na primer: ustvarjalni izdelek slikarja ali pisatelja na eni strani, pa zmazki in pisanje povprečnih posameznikov na drugi), niso izražene v ustreznih razlikah kognitivnega procesiranja, pa naj ga merimo z EEG, PET ali fMRI ali pa le z glasnim razmišljanjem, toplotnimi ocenami in podobnimi pokazatelji. Razlike, ki jih opazimo, so včasih prav trivialne. Detterman (1994) to razlaga s tem, da je sposobnost kompleksen sistem neodvisnih delcev. Po njegovem nobena posamična biološka mera ne bo veliko prispevala k pojasneni varianci sposobnosti. Druga razlaga je lahko teorija kaosa, kjer majhni vzroki povzročajo ogromne posledice.



## VIRI

- Al-Sabaty, I. in Davis, G.A. (1989). Relationship between creativity and right, left, and integrated thinking styles. *Creativity Research Journal*, 2, 111-117.
- Anderson, J.R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Anderson, J.R. (1993). Problem solving and learning. *American Psychologist*, 48, 35-44.
- Barrett, P.T., in Eysenck, H.J. (1994). The relationship between evoked potential component amplitude, latency, contour length, variability, zero-crossings, and psychometric intelligence. *Personality and Individual Differences*, 16, 3-32.
- Benbow, C.P. (1986). Physiological correlates of extreme intellectual precocity. *Neuropsychologia*, 24, 719-725.
- Benbow, C.P., (1988). Sex differences in mathematical reasoning ability in intellectually talented preadolescents. their nature, effects, and possible causes. *Behaviour and Brain Science*, 11, 169-232.
- Binder, R.J. in Rao, S.M. (1994). Human brain mapping with functional magnetic resonance imaging. V A., Kertesz (Ed.). *Localization and Neuroimaging in neuropsychology* (pp.185-212). San Diego: Academic Press.
- Bogen, J., in Bogen, G. (1969). The other side of the brain: III. The corpus callosum and creativity. *Bulletin of the Los Angeles Neurological Society*, 34 191-220.
- Braitenberg, V. and Schutz, A. (1991). *Anatomy of the Cortex. Statistics and geometry*. New York: Springer-Verlag.
- Broadman, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in Ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig: Barth.
- Bullock, T.H. (1965). Physiological bases of behavior. V J.A. Moore (Ed.) *Ideas in modern biology* (pp. 32-56). New York: Natural History Press.
- Bullock, T.H. (1980). Reassessment of neural connectivity and its specification. V H.M. Pinsker in W.D. Willis (Ed.) *Information processing in the nervous system* (pp. 119-220). New York: Raven Press.
- Butler, S.R., in Glass, A. (1976). EEG correlates of cerebral dominance. V A. H Reisen, and R.F. Thompson (Eds.) *Advances in psychology* Vol. 3 (pp. 219-384). NY: John Wiley.
- Cattell, R. (1971). *Abilities: Their structure, growth and action*. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.
- Chi, M.T.H. in Glaser, R. (1985). Problem solving ability. V R.J. Sternberg (Ed.) *Human abilities: An information processing approach*. (pp. 227-250), New York: W. H. Freeman and Company.
- Cranberg, L.D., in Albert, M.L. (1988). The chess mind. V L.K. Obler, in D.Fein (Ed) *The exceptional brain* (pp. 156-190). New York: The Guilford Press.
- Detterman, D.K. (1994). Intelligence and the brain. V P. A. Vernon (Ed.) *The neuropsychology of individual differences*. (pp. 35-57). London: Academic Press INC.
- Doerner, D. (1983). Heuristics and cognition in complex systems. V R. Groner, M. Groner in F.W. Bishof (Eds.), *Methods of Heuristics* (pp. 89-108). Hillsdale: LEA.
- Donchin, E., Kutas, M. in McCarthy, G. (1977). Electrocortical indices of hemispheric specialization. V S. Hamad, R.W. Doty, L. Goldstein, J. Jaynes in G. Krauthamer (Eds.) *Lateralization in the nervous system* (pp. 339-384). New York: Academic Press.
- Duncan, J, Burgess, P., Emslie, H (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 3, 261-268.
- Dünki, R.M. (1991). The estimation of the Kolmogorov entropy from a time series and its limitations when performed on EEG. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53, 665-678.
- Eccles, J. in Robinson, D.N. (1984). *The wonder of being human: Our brain and our mind*. New York: The Free Press.
- Ernst, G.W. in Newell, A. (1969). *GPS: A case study in generality and problem-solving*. New York: Academic Press.
- Ertl, J.P. (1971). IQ, evoked responses, and Fourier analysis. *Nature*, 241, 209-210.
- Etevenon, P. (1986). Applications and perspectives of EEG cartography. V F.H. Duffy (Ed.) *Topographic mapping of brain electrical activity*. Stoneham MA: Butterworth Publishers.
- Falcone, J.D. in Lodger, K.A. (1984). A modified lateral eye-movement measure, the right hemisphere and creativity. *Perceptual and Motor Skills*, 58, 823-830.
- Freud, S. (1925). *Collected papers*. London: Institute for Psychoanalysis and Hogarth Press.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gazzaniga, M.S. (1985). *The social brain*. New York: Basic Books, Inc., Publishers.
- Gazzaniga, M.S., Bogen, J.E., in Sperry, R.W. (1962). Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 48, 1765-1769.

- Geshwind, M. A. in Behan, P. (1982). Left-handedness: Association with immune disease, migraine and developmental learning disorder. *Proceedings of the National Academy of Science*, 79, 5097-5100.
- Geshwind, N.A. in Galaburda, A.M. (1987). *Cerebral lateralization*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Geschwind, N., in Levitsky, W. (1968). Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161, 186-187.
- Giannitrapani, D. (1985). *The electrophysiology of intellectual functions*. Basel: Karger AG.
- Glass, A. (1964) Mental arithmetic and blocking of the occipital alpha rhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 16, 595-603.
- Glass, A. (1984). Cognitive and EEG asymmetry. *Biological Psychology*, 19, 213-217.
- Gowan, J.C. (1979). The production of creativity through right hemisphere imagery. *Journal of Creative Behavior*, 13, 39-51.
- Grafman, J., Jonas, B.S., Martin, A., Salazar, A., Weingartner, H., Ludlow, C., Smutok, M.A., in Vance, S.C. (1988). Intellectual function following penetration head injury in Vietnam veterans. *Brain*, 111, 169-184.
- Grassberger, P., in Procaccia, I. (1983). Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica*, 9D, 189-209.
- Grassberger, P., in Procaccia, I. (1984). Dimensions and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamics approach. *Physica*, 13D, 34-54.
- Gutierrez, S. in Corsi-Cabrera, M. (1988). EEG activity during performance of cognitive tasks demanding verbal and/or spatial processing. *International Journal of Neuroscience*, 62, 149-155.
- Haier, R.J., Neuchterlein, K.H., Hazlett, E., Wu, J.C. Paek, J., Browning, H.L., in Buchsbaum, M.S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12, 199-217.
- Haier, R.J., Siegel, B., Tang, C. Abel, L., in Buchsbaum, M.S., (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence*, 16, 415-426.
- Haier, R.J., Benbow, C.P. (1995). Sex differences and lateralization in temporal lobe glucose metabolism during mathematical reasoning. *Developmental Neuropsychology*, 4, 405-414.
- Hoppe, K.D. (1989). Psychoanalysis, hemispheric specialization, and creativity. *Journal of the American Academy of Psychoanalysis*, 2, 253-269.
- Hunt, E. (1978). Mechanisms of verbal ability. *Psychological Review*, 85, 109-130.
- Jarman, R.F., Vrvak, J., in Walton, P.D. (1995). Metacognitive and frontal lobe processes: At the interface of cognitive psychology and neuropsychology. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 121, 154-210.
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation for Electroencephalography: Appendix to the report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography. *The Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jaušovec, N. (1994) Flexible thinking: An explanation for individual differences in ability. Cresskill, NJ: Hampton Press Inc.
- Jaušovec, N. (1996). Differences in EEG alpha activity related to giftedness. *Intelligence*, 3, 159-173.
- Jaušovec, N. (1997 a). Differences in EEG alpha activity between gifted and non-identified individuals: Insights into problem solving. *Gifted Child Quarterly*, 1, 26-32.
- Jaušovec, N. (1997 b). Linear and nonlinear dynamical analysis of multichannel EEG: Differences between gifted and average individuals. *JINS*, 4, 58.
- Jaušovec, N. (1997 c). Differences in EEG activity during the solution of closed and open problems. *Creativity Research Journal*, 10, 317-324.
- Jaušovec, N. in Bakračević K. (1995). What can heart-rate tell us about the creative process? *Creativity Research Journal*, 8, 11-24.
- Jung, C.G. (1933). *Modern man in search of a soul*. London: Routledge.
- Katz, A.N. (1983). Creativity and individual differences in asymmetrical cerebral hemispheric functioning. *Empirical Studies in Art*, 1, 3-16.
- Kertesz, A. (1994). Localization and function: Old issues revised and new developments. V A., Kertesz (Ed.). *Localization and Neuroimaging in neuropsychology* (pp.1-33). San Diego: Academic Press.
- Kimura, D. (1967). Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 3, 163-178.
- Kocel, K., Galin, D., Ornstein, R., in Merrin, E.L. (1972). Lateral eye movements and cognitive mode. *Psychonomic Science*, 176, 539-541.
- Koestler, A. (1967). *The ghost in the machine*. New York: Macmillan.
- Kolb, B., in Whishaw, I.Q. (1996). *Fundamentals of human neuropsychology*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Krause, W. (1992). Zur Messung geistiger Leistungen: Eine alte Idee und ein neuer Ansatz. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1, 114-128.

- Kuhman, W., Lachnit, W. in Vaitl, D. (1985). The quantification of experimental load: Methodological and empirical issues. V A. Steptoe, H. Rueddel in H. Neus (Eds) Clinical and methodological issues in cardiovascular psychophysiology. (pp. 45-52) Berlin: Springer-Verlag.
- Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Flor, H., Rockstroh, B. in Elbert, T. (1992 a). Dimensional analysis of the human EEG and intelligence. *Neuroscience Letters*, 143, 10-14.
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Birbaumer, N., in Ray, W.J. (1992 b). The scalp distribution of the fractal dimension of the EEG and its variation with mental tasks. *Brain Topography*, 5, 27-34.
- Malkin, V. (1982). [Elektronecefalogram igralcev šaha.] *Shakmatnyi Byulleten*, 8, 12-14.
- Manuck, S., Krantz, D. in Polefrone, J. (1985). Task influences on behaviourally-elicited cardiovascular reactions. V A. Steptoe, H. Rueddel in H. Neus (Eds) Clinical and methodological issues in cardiovascular psychophysiology. (pp. 17-29) Berlin: Springer-Verlag.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- Martindale, C., Hines, D., Mitchell, L. in Covello, E. (1984). EEG alpha asymmetry and creativity. *Personal and Individual Differences*, 5, 77-86.
- Metter, E.J., in Hanson, W.R. (1994). Use of positron emission tomography to study aphasia. V Kertesz (Ed.). *Localization and Neuroimaging in neuropsychology* (pp.123-149). San Diego: Academic Press.
- Milner, B., in Petrides, M. (1984). Behavioural effects of frontal-lobe lesions in man. *Trends in Neurosciences*, 7, 403-407.
- Mountcastle, V.B., (1975). The view from within: Pathways to the study of perception. *Johns Hopkins Medical Journal*, 136, 109-131.
- Myers, J.T. (1982). Hemisphericity research: An overview with some implications for problem solving. *The Journal of Creative Behavior*, 3, 197-211.
- Neubauer, V., Freudenthaler, H.H., in Pfurtscheller, G. (1995). Intelligence and spatiotemporal patterns of event-related desynchronization. *Intelligence*, 3, 249-266.
- Nunez, P.L. (1995). Mind, brain, in electroencephalography. V P. L. Nunez (Ed.) *Neocortical dynamics and human EEG rhythms*. (pp. 133-194) NY: Oxford University Press.
- O'Boyle, M.W., Alexander, J.E. in Benbow, C.P. (1991). Enhanced right hemisphere activation in the mathematically precocious: A preliminary EEG investigation. *Brain and Cognition*, 17, 138-153.
- O'Boyle, M.W., Benbow, C.P., in Alexander, J.E. (1995). Sex differences, hemispheric laterality, and associated brain activity in the intellectually gifted. *Developmental Neuropsychology*, 4, 415-443.
- Ornstein, R.E. (1973). Right and left thinking. *Psychology Today*, 6, 86-92.
- Pascual-Marqui, R.D., Michel, C.M., in Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 18, 49-65.
- Petsche, H., Pockberger, H. in Rappelsberger, P. (1986). EEG topography and mental performance. V F.H. Duffy (Eds.) *Topographic mapping of brain electrical activity*. (pp. 63-98), Stoneham MA: Butterworths.
- Petsche, H., Pockberger, H. in Rappelsberger, P. (1986). EEG topography and mental performance. V F.H. Duffy (Eds.) *Topographic mapping of brain electrical activity*. (pp. 63-98), Stoneham MA: Butterworths.
- Rohwer, W.D. in Thomas, J.W. (1989). Domain-specific knowledge, metacognition, and the promise of instruction reform. V C.B. McCormick, G. Miller in M. Pressley (Ed.). *Cognitive strategy research* (pp. 104-133). New York: Springer-Verlag.
- Rothenberg, A. (1983). Psychopathology and creative cognition. *Archives of General Psychiatry*, 40 937-942.
- Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Pugh, K.R., Constable, R.T., Skudlarski, P., Fulbright, R.K., Brnonen, R.A., Fletcher, J.M., Shankweiler, D.P., Katz, L., in Gore, J.C. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373, 607-609.
- Shucard, D.W., in Horn, J.L. (1973). Evoked cortical potentials and measurement of human abilities. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 78, 59-68.
- Simon, H.A. (1979). *Models of thought*. New Haven: Yale University Press.
- Spearman, C. (1927). *The nature of intelligence and the principles of cognition*. London: Macmillan.
- Stam, K.J., Tavy, D.L.J., Jelles, B., Achtereekte, H.A.M., Slaets, J.P.J., in Keunen, R.W.M. (1994). Non-linear dynamical analysis of multichannel EEG: Clinical applications in dementia and parkinson's disease. *Brain Topography*, 7, 141- 150.
- Szentagothai, J. (1979). Local neuron circuits of the neocortex. V F.O. Schmitt in F.G. Worden (Ed.) *The neurosciences 4th study program*. (pp. 399-415). Cambridge MA: MIT Press.
- Torrance, E.P., Reynolds, C.R., Riegel, T., in Ball, O. (1977). *Your style of learning and thinking, forms A and B: Preliminary norms, abbreviated technical notes, scoring keys, and selected references*. *The Gifted Child Quarterly*, 4, (Winter), 563-573.
- Torrance, E.P. (1982). Hemisphericity and creative functioning. *Journal of Research and Development in Education*, 3, 29-37.

- Varghese, L., Nampoori, V.P.N., in Pratap, R., (1987). Nonlinear analysis of an electroencephalogram (EEG) during epileptic seizure. *Current Science*, 20, 1039-1041.
- Voss, J.F., Sherman, W., Tyler, W., in Yengo, L.A. (1983). Individual differences in the solving of social science problems. V R. F. Dillon in R.R. Schmeck (Ed.), *Individual differences in Cognition*. (p. 205-232), New York: Academic Press.
- Willerman, L., Schutz, R., Rutledge, J. N., in Bigler, E.D. (1992). Hemisphere size asymmetry predicts relative verbal and nonverbal intelligence differently in the sexes: An MRI study of structure-function relations. *Intelligence*, 16, 315-328.