



## 1. Ongelmallinen älykkyys

Pyrkimyksellä mitata henkisiä kykyjä on pitkä menneisyys psykologiassa. Mm. Sir Francis Galton (1907) laati testejä, joissa mitattiin koehenkilöiden kykyä erotella erilaisia aistiärsykyitä sekä heidän reaktioaikaansa niihin. Hän esitti kokeidensa perusteella, että lahjakkaat ihmiset ovat vähälahjaisia parempia huomaamaan eron esimerkiksi kahden esineen painon välillä.

Myöhemmin useat tutkijat, yhtenä heistä Charles Spearman, koettivat löytää yhteyden aistihavaintojen erottelukyvyn ja älykkyuden välillä. Spearman (1904) antoi erilaisia erottelutehtäviä joukolle koululaisia ja huomasi korrelaatioita arvosanojen välillä verratessaan tuloksia opiskelijoiden eri aineissa saamiin arvosanoihin. Arvosanat oli myös mahdollista järjestää taulukoksi siten, että niistä oli nähtävissä laskeva järjestys korrelaatioille - klassikoiden tuntemus korreloi vahvimmin kaiken muun kanssa, siinä missä musiikin osaaminen vähiten (taulukko 1).

	K	R	E	Ma	S	Mu
Klassikot		.83	.78	.70	.66	.60
Ranska	.83		.67	.67	.65	.57
Englanti	.78	.67		.64	.54	.51
Matematiikka	.70	.67	.64		.45	.51
Sävelkorkeus	.66	.65	.54	.45		.40
Musiikki	.63	.57	.51	.51	.40	

*Taulukko 1: Spearmanin korrelaatiomatriisi, näyttää miten paljon eri kouluaineiden arvosanat korreloivat toistensa kanssa. Mukana on myös sävelkorkeuden erotuskykyä mittaava testi. (Spearman 1904)*

Spearman uskoi korrelaatorakenteen johtuvan yhteisestä henkisestä tekijästä, g(eneral intelligence)-tekijästä tai g-faktorista, joka vaikutti vaihtelevissa määrin kaikkiin arvosanoihin. Nykyään ”älykkyystesteinä” tunnetut testit kehitettiin alun alkaen pitkälti mittaamaan juuri tätä tekijää. Osa älykkyystesteiksi päätyneistä testeistä kehitettiin tosin alun perin eri tarkoitukseen: esimerkiksi Alfred Binet kehitti Binet-Stanford-älykkyystestin esiasteen epänormaalisti kehittyvien lasten tunnistamiseen, ei niinkään terveiden ihmisten vertailemiseen (Sternberg & Larvin 2001).

Tutkijoiden keskuudessa ei kuitenkaan vallitse yksimielisyyttä siitä, mitä nämä testit todella mittaavat. Myöskään ”älykkyys”-termin merkityksestä ei ole yksimielisyyttä. Anastasin (1992) mukaan älykkyys ei ole yksittäinen ominaisuus vaan usean toiminnon yhdistelmä, joka viittaa sellaisiin kykyihin, jotka ovat tietyssä kulttuurissa tarpeellisia. Gould (1981, s. 24) katsoi älykkyuden olevan ”ihmeellisen monimutkainen ja monitahoinen joukko inhimillisiä kykyjä”, jota ei voida pelkistää yksittäiseksi luvuksi. Gottfredson (1997a) kutsui tutkijoita eri aloilta antropologiasta ja käyttäytymisgenetiikasta sosiologiaan ja psykometriikkaan allekirjoittamaan

mielipidekirjoituksen, joka mm. määritteli älykkyyden olevan ”hyvin yleislaatuinen henkinen kyky, johon liittyy mm. kyky päätellä, suunnitella, ratkoa ongelmia, ajatella abstraktisti, ymmärtää monimutkaisia ideoita, oppia nopeasti ja oppia kokemuksesta”. 117 kutsutusta tutkijasta tavoitettiin ajoissa 100, joista 52 suostui antamaan allekirjoituksensa. Legg ja Hutter (2007) ovat keränneet älykkyydelle sanakirjoista ja ensyklopedioista 18, psykologeilta 35 ja tekoälytutkijoilta 18 eri määritelmää noin viimeisen sadan vuoden varrelta. Jensen (1998) mainitsee kaksi psykologien konferenssia, toinen vuonna 1921 ja toinen vuonna 1986, joissa pyrittiin määrittelemään älykkyys. Kummassakaan ei päästy yhteisymmärrykseen.

”Älykkyys”-sanaa onkin monitulkintaisuutensa ja latautuneisuutensa vuoksi parempi olla käyttämättä lainkaan. Terminologiset väittelyt älykkyyden todellisesta merkityksestä voidaan välttää keskittymällä spesifeihin, objektiivisesti mitattavissa oleviin ominaisuuksiin. Tässä tutkielmassa ei siksi käsitelläkään älykkyyttä vaan *g*-faktoria ja sen muita korrelaatteja.

Aloitin antamalla luvussa 2 intuitiivisen, geometrisen tulkinnan faktorianalyysille ja faktoreille. Luvussa 3 selostan faktoreiden laskemisprosessin muodollisemmin. Luku 4 kertoo, miten näin saatuja matemaattisia tuloksia voidaan käytännössä soveltaa ja mitä riskejä tähän liittyy. Luvussa 5 käsittelen *g*-faktorille löydettyjä biologisia ja luvussa 6 sosiaalisia korrelaatteja. Luku 7 käsittelee erilaisia kritiikkejä joita älykkyystestausta kohtaan on esitetty. Käsittelen luvussa 7.1. erityisesti Flynnin efektiä eli älykkyystestien raakapisteiden nousua 1900-luvun aikana ja luvussa 7.2. yleisemmin *g*-faktorin pysyvyyttä yksilötasolla. Luku 8 on yhteenveto tuloksista.

## 2. *g*-faktori

Spearman kehitti nykyään faktorianalyysin nimellä tunnetun tekniikan löytämänsä korrelaatorakenteen tutkimiseen. Faktorianalyysin ajatuksena on, että mitattavissa muuttujissa  $X_i$  – tässä tapauksessa arvosanoissa – on kaikissa jokin yhteinen tekijä, jota tässä ilmaistaan  $C$ :llä (Cooper, 1983).

$$X_1 = a_1 \cdot C + U_1$$

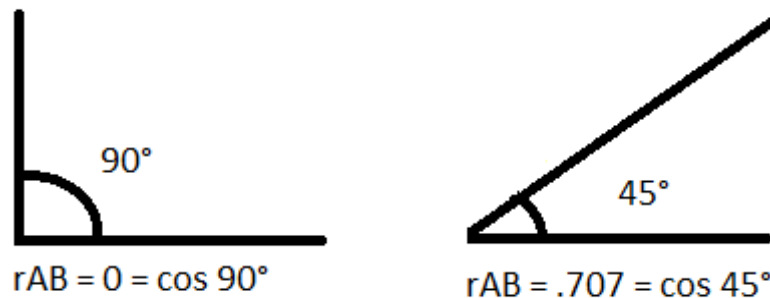
$$X_2 = a_2 \cdot C + U_2$$

...

$$X_n = a_n \cdot C + U_n$$

Esimerkkinä voisi olla kuvitteellinen malli, joka selittäisi omistettujen autojen määrää sekä keskiluokan kokoa yleisellä teollistumistekijällä. Mitä teollistuneempi valtio, sen useampi omistaa auton ja sen useampi on luokiteltavissa keskiluokkaan kuuluvaksi.

Se, miten faktorianalyysi tulkitsee kertoimet, voidaan ilmaista myös geometrisesti<sup>1</sup>. Eri korrelaatiokertoimet voidaan esittää suorien välisten kulmien kosineina: korrelaatio 0 vastaa 90°:n kulmaa, korrelaatio .5 vastaa 60°:n kulmaa, ja niin edelleen.

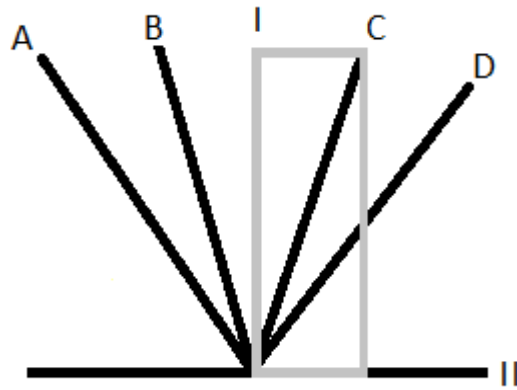


Kuva 1: Korrelaatiokertoimet suorien välisinä kulmina. Ensimmäisessä kuvassa näkyvästä 90 asteen kulmasta saadaan korrelaatiokertoimeksi 0 laskemalla siitä kosini. Toisen kuvan kulmasta saadaan vastaavasti korrelaatiokerroin .707. (Jensen 1998, s. 62)

Eri muuttujat – esimerkiksi älykkyyystesteissä yksittäisten alatestien tulokset – voidaan puolestaan esittää vektoreina. Faktoriansalyysissä eri muuttujat kuvataan tällä tapaa vektoreiksi: kuvassa 2 (Jensen 1998, s. 64) näkyvät vektorit A, B, C ja D ovat eri testien tuloksia. X- ja Y-akselien paikkaan päätyneet suorat I ja II ovat muuttujien yhteisiä tekijöitä eli faktoreita. Faktori I on valittu siten, että se korreloi muuttujien A-D kanssa enemmän kuin mikään muu origon kautta kulkeva suora. Faktori II on valittu siten, että se on suorassa kulmassa faktorin I kanssa. Tällöin se ei korreloi ensimmäisen faktorin kanssa, eli faktorit ovat toisistaan täysin riippumattomia tekijöitä.

Eri muuttujien faktorilatautuneisuus – eli se, missä määrin kukin faktori selittää siitä muuttujasta – voidaan puolestaan kuvata muuttujan projektiona faktorille. Kuvan 2 esimerkissä I selittää C:stä hyvin suuren osuuden, koska C:n projektio I:lle kattaa lähes koko I:n, ja II selittää huomattavasti pienemmän osion.

<sup>1</sup> Tässä esitetty faktoriansalyysin geometrinen tulkinta mukailtu lähteistä Gould 1981 (s. 239-250) ja Jensen 1998 (s. 57-68.)



Kuva 2: Älykkyystestien testitulokset A-D on kuvattu vektoreiksi. Faktori I on valittu olemaan lähempänä jokaista muuttujaa kuin mikään muu origon kautta kulkeva suora viiva, II on sen kanssa suorassa kulmassa oleva faktori. Testitulos C on projisioitu faktoreille I ja II. (Jensen 1998, s. 64)

Myös faktoreille itselleen on mahdollista hakea faktoreita, mikäli vaatimus faktorien keskinäisestä korreloimattomuudesta ei ole voimassa. Aiempaan esimerkkiin palaten autojen yleisyyden ja keskiluokan koon lisäksi saatettaisiin tutkia perheiden kokoa ja naisten lukutaitoa. Tällöin voitaisiin havaita, että teollistuminen vaikuttaa eniten keskiluokan kokoon ja autojen määrään, ja yleinen naisten oikeuksia mittaava tekijä perhekokoon ja naisten lukutaitoon. Kuitenkin olisi olemassa myös korkeamman tason faktori, talouskasvu, joka puolestaan vaikuttaisi sekä teollistumiseen että naisten oikeuksiin. Vastaavalla tavalla älykkyystesteissä on iso joukko alatestejä, joiden tuloksille löydetään ns. ryhmäfaktoreita kuten verbaalinen ja spatiaalinen äly, joille puolestaan löytyy yhteinen faktori *g*. Mikäli iso osa testin tuloksesta on selitettävissä *g*:llä, tulosta kutsutaan *g*-latautuneeksi.

### 3. Faktorianalyysi muodollisesti

Jonkin muuttujan *varianssi* ilmaisee, miten paljon sen mitattujen arvojen voi odottaa poikkeavan sen odotusarvosta. Kun ensin on laskettu odotusarvo jakamalla havaintojen arvojen summa havaintopisteiden määrällä, voidaan laskea varianssi. Tämä tehdään vähentämällä jokainen havaintopiste havaintojen odotusarvosta ja ottamalla tämän erotuksen neliö, jonka jälkeen kaikkien erotusten neliöistä lasketaan keskiarvo. Jos  $\mu = E(x)$  on *X*:n odotusarvo, niin

$$\text{var}(X) = E((x - \mu)^2)$$

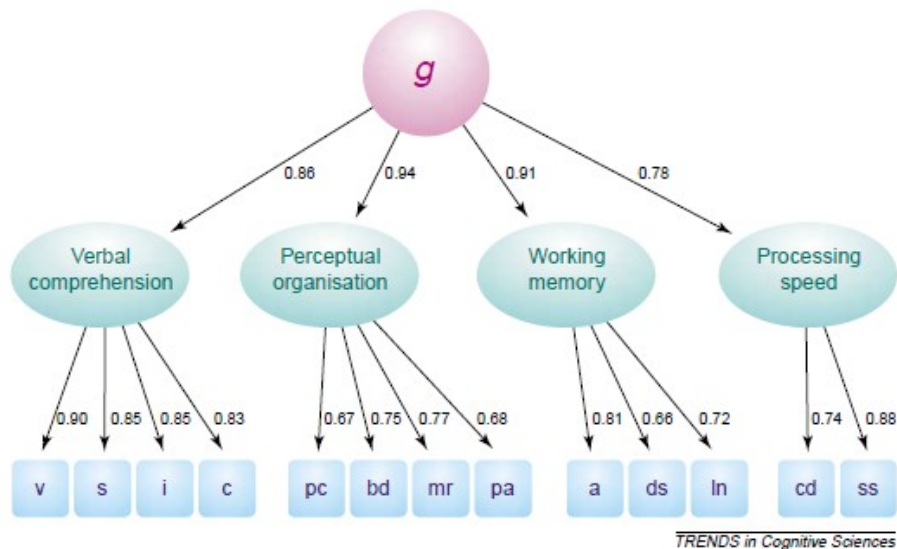
Kahden muuttujan *kovarianssi* ilmaisee, miten paljon kaksi muuttujaa vaihtelee yhdessä. Mikäli ensimmäisen muuttujan havaintopisteiden poikkeamaan keskiarvostaan liittyy tyypillisesti toisen muuttujan havaintopisteiden poikkeama samaan suuntaan, muuttuu kovarianssi positiivisemmaksi. Jos arvot poikkeavat eri suuntiin, muuttuu se negatiivisemmaksi.

Jos  $E$  on odotusarvon operaattori ja  $X$  ja  $Y$  muuttujia,  $E(X) = \mu$  ja  $E(Y) = \nu$  niin

$$\text{cov}(X, Y) = E((x - \mu)(y - \nu))$$

Toisin sanoen kovarianssi lasketaan ottamalla kunkin havaintopisteparin  $(x, y)$  kohdalla kummankin havaintopisteen  $x$  ja  $y$  erotus odotusarvostaan. Nämä kaksi erotusta kerrotaan toisillaan. Lopuksi saadaan kovarianssi ottamalla keskiarvo kaikista näin lasketuista tuloista.

*Korrelaatio* on kahden muuttujan välinen kovarianssi normitettuna välille  $[-1, 1]$ . Joukko usean eri muuttujan välisiä keskinäisiä korrelaatioita voidaan järjestää taulukkoon *korrelaatiomatriisiksi*.



Kuva 3:  $g$  ylimmän tason faktorina. Ryhmäfaktorit keskellä, WAIS-III -älykkyydestin alatestit alhaalla. Nuolten luvut ilmaisevat korrelaatioita. Alatestien lyhenteet: v, sanavarasto (vocabulary); s, yhtäläisyydet (similarities); i, informaatio (information); c, ymmärrys (comprehension); pc, kuvatäydennys (picture completion); bd, palikkapäättely (block design); mr, kuviopäättely (matrix reasoning); pa, kuvien järjestely (picture arrangement); a, aritmetiikka (arithmetic); ds, numeromuisti (digit span); ln, kirjainnumerojärjestely (letter-number sequencing); cd, numero-symbolikoodaus (digit-symbol coding); ss, symbolinhaku (symbol search). Huomionarvoista on, että  $g$ :n vaikutus alatestisuorituksen vaihteluun on paljon suurempi, kuin mitä kuvasta ehkä voisi olettaa. Esimerkiksi havainto-organisaatiofaktorin vaihtelusta 88 % ( $0.94^2$ ) johtuu  $g$ :stä, jolloin  $g$ -faktorin vaihtelu selittää 52 % ( $0.88 * 0.77^2$ ) kuviopäättelyn vaihtelusta siinä missä ryhmäfaktorin vaihtelu vain 7 % ( $0.12 * 0.77^2$ ). (Deary, 2001)

Lineaarialgebrassa (nollasta poikkeava) vektori  $\bar{x}$  on matriisin  $\mathbf{A}$  ominaisvektori, mikäli se täyttää ehdon  $\mathbf{A}\bar{x} = \lambda\bar{x}$  jollekin ominaisarvolle  $\lambda$ . Geometrisesti ajateltuna  $\mathbf{A}$ :n ominaisvektorin suunta ei muutu, kun se kerrotaan  $\mathbf{A}$ :lla, joskin sen sen pituus muuttuu ominaisarvon verran.

Jos meillä on  $p$  kappaletta muuttujia ja niiden välisiä korrelaatioita, voimme muodostaa niistä muotoa  $p \cdot p$  olevan korrelaatiomatriisin  $\mathbf{R}$ . Faktorianalyysia varten laskemme sen ominaisarvot. Tarpeeksi suuret ominaisarvot (esimerkiksi yli yhden) otetaan huomioon ja tulkitaan matriisin faktoreiksi. Kun faktoreita on saatu  $m$  kappaletta, muodostamme niiden ominaisvektoreista  $p \cdot m$

-matriisin  $\mathbf{V}$ . Seuraavaksi voimme laskea ominaisarvomatriisin  $\mathbf{L} = \mathbf{VRV}'$  sekä faktorilatautuneisuusmatriisin  $\mathbf{A} = \mathbf{V}\sqrt{\mathbf{L}}$ .  $\mathbf{A}$  kertoo meille, missä määrin muuttujat ovat latautuneet eri faktoreille. (Tabachnick & Fidell 2001)

Mikäli meillä on vahva syy olettaa, että faktorit ovat toisistaan riippumattomia, voimme kiertää  $\mathbf{A}$ :ta transformaatiomatriisilla  $\mathbf{T}$ ,

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos(k) & -\sin(k) \\ \sin(k) & \cos(k) \end{bmatrix}$$

jossa  $k$  on jokin kulma. Valitsemalla  $\mathbf{T}$  sopivasti voidaan faktorit kääntää siten, että kukin niistä latautuu mahdollisimman voimakkaasti halutuille muuttujille. Mikäli muuttujat joista laskimme alkuperäisen korrelaatiomatriisin ovat esimerkiksi  $n$  eri koehenkilön testipisteet, ja meillä on alkuperäispisteet  $n \cdot p$  -taulukossa  $\mathbf{Z}$ , voimme myös pisteyttää eri faktoreiden vaikutuksen eri koehenkilöiden testituloksissa laskemalla ensin matriisin  $\mathbf{B} = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{A}$  ja sitten matriisin  $\mathbf{F} = \mathbf{ZB}$ . Aina ei ole perusteltua olettaa, että faktorit ovat toisistaan riippumattomia. Tällöin voimme vastaavasti kiertää matriisia  $\mathbf{A}$  tavalla, joka ei oletta faktoreiden olevan keskenään kohtisuoria.

Faktoreiden välisen korrelaation laskemiseen on useita kaavoja, joista yksi on  $\frac{1}{N-1}\mathbf{F}'\mathbf{F}$  joka antaa korrelaatiomatriisin faktoreille. (Tabachnick & Fidell 2001)

#### 4. Faktoreiden soveltamisesta

Koska  $g$  on eri älykkyystestien osioiden korrelaatiosta syntyvä matemaattinen konstruktio, eivät älykkyystestit edes periaatteessa pysty mittaamaan sitä suoraan. Älykkyystesteihin sisällytetään alatestejä, jotka tiedetään tai jotka voidaan olettaa mahdollisimman  $g$ -latautuneiksi. Usein alatestit pyritään valitsemaan mahdollisimman laajasti, ryhmäfaktoreiden vaikutuksen vähentämiseksi. Tämän jälkeen rekrytoidaan edustava väkijoukko tekemään testit, ja usein normitetaan saadut raakapisteet ”älykkyysosamääräksi” siten, että  $\bar{X}$  noudattaa normaalijakaumaa ja sen mediaani on 100 ja keskihajonta 15.

Älykkyystestien tulokset ovat aina spesifejä kyseiseen testiin ja siihen väestöön, jossa ne on normitettu. Esimerkiksi amerikkalaisilla vuonna 1940 normitettu WAIS-testi ei anna suoraan vertailukelpoisia tuloksia suomalaisilla vuonna 2005 normitetun Raven-testin kanssa. Eri älykkyystestityyppien korrelaatio keskinäinen korrelaatio ja  $g$ -latautuneisuus on tyypillisesti noin .8. (Jensen 1998) Älykkyystestien keskimääräiset raakapisteet ovat vuodesta 1947 saakka kasvaneet länsimaissa tahdilla, joka vastaa noin 0.3 pistettä vuosittain (Flynn 1987, 2007: ks.

”Flynnin efekti” myöhempänä). 18-vuotias, joka vuonna 2007 tekee älykkyystestin, joka normitettiin 18-vuotiaille vuonna 1997, saa siis keskimäärin 3 pistettä paremman tuloksen kuin vuoden 2007 kohortille normitettu testi antaisi.

*g*-faktoria ja älykkyysosamääriä tutkittaessa on oltava varovainen, sillä korrelaatio ei kerro vaikutuksen suuntaa eivätkä faktorianalyysillä esiin saadut tekijät välttämättä kerro kausaalisesta yhteydestä. Aiemmassa esimerkissä mainittiin talouskasvu ylätasoinen faktorina teollistumiselle ja naisten oikeuksille, mutta ei vaikuta mielekkäältä olettaa, että kyseessä olisi yksisuuntainen suhde, jossa talouskasvu aiheuttaisi teollistumista ja naisten oikeuksien parantumista muttei päinvastoin. Analyysin tekeminen toisella tapaa saattaisikin antaa ylimmän tason faktoriksi teollistumisen. Faktorianalyysi ei myöskään kerro, mitä sen paljastamat faktorit ovat, vaan niiden nimeäminen on tutkijoiden tulkinnan varassa. Esimerkissämme faktorit nimettiin teollistumiseksi, naisten oikeuksiksi ja talouskasvuksi, mutta tämä on vain yksi mahdollinen tulkinta.

Monet muuttajat korreloivat puhtaasti sattumalta: koska inflaatio kasvaa joka vuosi, on ihmisten iällä vahva korrelaatio inflaation kanssa. Faktorianalyysillä voitaisiin löytää näille yhteinen faktori, joka "selittäisi" sekä ihmisten ikääntymisen että inflaation, mutta tämä ei olisi mikään kausaalinen tekijä. Shalzi (2007) taas käyttää esimerkkiä automerkeistä: merkittävä osa eri automerkkien ominaisuuksista voidaan "selittää" yhdellä tekijällä, jonka kanssa lähes kaikki ominaisuudet bensankulutusta lukuunottamatta korreloivat positiivisesti. Tämä tekijä ei kerro mitään muuta kuin sen, onko auto keskimääräistä autoa suurempi vai pienempi. Tällöin esimerkiksi ison matkustajamäärän "selittäminen" kyseisellä tekijällä, auton tavallista isommalla koolla, olisi kehäpäätelmä. Mm. Gould (1981) kritisoi älykkyystestausta voimakkaasti sillä perusteella, ettei testien *g*-latautuneisuus itsessään välttämättä merkitse mitään.

## **5. *g*-faktorin biologinen ja funktionaalinen pohja**

*g*-faktorin käsitteleminen kausaalisenä tekijänä kenties sattumalta löydetyn matemaattisen suureen sijaan vaatii sen validointia jollakin faktorianalyysistä riippumattomalla tavalla. Sille onkin löydetty tutkimuksissa neuraalinen ja geneettinen pohja.

Aivojen aktivaatiota *g*-latautuneita tehtäviä tehdessä on tutkittu aivokuvannusmenetelmillä.

Aivoista on PET-kuvannustekniikoilla löydetty yksittäinen alue, joka aktivoituu säännönmukaisesti *g*-latautuneita tehtäviä tehdessä mutta ei kontrollitehtäviä tehdessä (Duncan et al. 2000).

Samankaltaiset fMRI-tutkimukset ovat löytäneet laajempien aivoalueiden aktivaatiota, ja saattavat



kieliä laajasta g-faktoriin liittyvästä verkostosta aivoissa. (Gray & Thompson 2004)

Aivojen koko korreloi g:n kanssa. McDaniel (2005) laati meta-analyysin, joka kattoi 37 aiempaa tutkimusta ja 1530 koehenkilöä. Korrelaatio aivojen koon ja g:n välillä oli naisilla suurempi kuin miehillä ja aikuisilla suurempi kuin lapsilla. Keskimäärin korrelaatio oli noin  $0.33^2$ . Toga ja Thompson (2005) esittivät useiden tutkimusten nojalla, että aivojen rakenne ja aivojen eri alueiden koot ovat voimakkaasti geneettisesti määräytyviä, että älykkyydessä on merkittävä periytyvä osio ja että älykkyyden periytyvyys johtuu merkittävilta osin periytyvyydessä aivojen rakenteesta ja koossa.

Neuraalitehokkuushypoteesin (*neural efficiency hypothesis*) mukaan korkeamman g:n yksilöt selviävät haastavammista tehtävistä vähemmällä energialla ja pienempien aivoverkostojen hyödyntämisellä. Hypoteesi ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteinen, sillä sukupuoli ja tehtävän laatu saattavat tuottaa interaktioita. Neubauer et al. (2002) raportoivat naispuolisista koehenkilöistä koottujen tietojen tukevan neuraalitehokkuushypoteesia miespuolisista kerättyjä vahvemmin, kun kyseessä oli verbaalinen tehtävä, siinä missä kuvallisissa tehtävissä tilanne oli päinvastainen. Neuraalitehokkuushypoteesia tukevat havainnot siitä, että aivosolujen myeliinitupen eheydellä on yhteys g:hen. Chiang et al. (2009) mukaan aivokurkiaisien alueella mitatun valkoisen aineen eheyden (white matter integrity) ja eri tehtävissä mitatun g:n välinen korrelaatio on noin .3 – .5.

g:n tarkka funktionaalinen alkuperä on vielä jossain määrin kyseenalainen, mutta se vaikuttaa liittyvän työmuistiin ja lyhytkestoiseen muistiin. Korkeamman g:n ja siten korkeamman älykkyydosamäärän ihmisiä ovat ne, joilla on korkeampi muistikapasiteetti. He pystyvät pitämään laajemmista kokonaisuuksista mielessään enemmän yksityiskohtia kerralla. (Oberauer et al. 2005) Lisäksi heillä on lisäksi parempi kyky luoda olemassaolevista käsitteistä uusia muodostamalla yhteyksiä niiden välille (Oberauer et al. 2008).

## 6. g-faktorin sosiaaliset vaikutukset

2 Tässä sekä myöhemmin mainituissa tutkimuksissa korrelaatio g:n kanssa tarkoittaa käytännössä korrelaatiota  $\dot{A}O$ :n kanssa. Esimerkiksi McDaniel (2005) laati analyysinsä kokoamalla joukon tutkimuksia, joissa oli vertailtu aivojen kokoa ja erilaisilla standarditesteillä mitattua  $\dot{A}O$ :ta. Keskimääräinen korrelaatio laskettiin nämä kaikki yhdistämällä. Tätä voi periaatteessa pitää jonkin verran ongelmallisena metodologiana, koska eri  $\dot{A}O$ -testien tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Koska niiden tulokset korreloivat kuitenkin vahvasti keskenään ja ovat voimakkaan g-latautuneita, käytännön tutkimustyössä ajatellaan, että kaikki testit mittaavat samaa suuretta jonkin (tuntemattoman mutta pienen) mittausvirheen kera. Eri tutkimusten tuloksissa puhutaan vaihtelevasti g:stä, älykkyydestä tai  $\dot{A}O$ :sta: niitä referoidessani puhun konsistenttiuden vuoksi aina g:stä. Poikkeuksena ovat ne muutamat tapaukset joissa tulokset on selkeintä ilmaista viitaten tietyn pistetuloksen saajien suhteelliseen määrään, jolloin olen viitannut  $\dot{A}O$ :hon.

Gottfredson (1997b) kerää yhteen laajan joukon g-faktorin käytännön vaikutusta puoltavia tutkimustuloksia: g korreloi työsuoriutumisen kanssa lähes kaikissa työtehtävissä, korrelaatio kasvaa työtehtävien kompleksisuuden noustessa ja g on yksi tärkeimpiä laaja-alaisia työsuorituksen ennustajia. Ylimääräisen työkokemuksen hyöty verrattuna ylimääräisen g:n hyötyyn laskee työtehtävien kompleksisuuden kasvaessa. Korkea g lisää myös todennäköisyyttä päätyä naimisiin, laskee todennäköisyyttä erota viiden vuoden sisään häistä ja lisää todennäköisyyttä ansaita enemmän rahaa.

Thienpont & Verleye (2003) käyttivät hyväkseen Iso-Britanniassa tehtyä National Child Development Study-tutkimusta jossa seurattiin kohorttia vuodesta 1958 vuoteen 2000, ja totesivat älykkyystestissä korkeamman pistemäärän saaneiden yksilöiden valikoituvan korkeampiin sosiaaliluokkiin, vanhempien sosiaalisen aseman vaikutuksen ollessa vähäinen. Colom & Flores-Mendoza (2007) taas tutkivat kolmea joukkoa brasilialaisia lapsia ja totesivat korrelaation vanhempien tulojen ja lasten älykkyuden välillä olevan vähäinen<sup>3</sup> (.20\*, .18, ja .16\*\*), siinä missä korrelaatio älykkyuden ja koulumenestyksen välillä oli merkittävä (.69\*, .63\*, ja .44\*). (Korrelaatiot vanhempien tulojen ja koulumenestyksen välillä olivat .15\*, .25\*\*, .02)

Lubinski et al. (2001) seurasivat 320 poikkeuksellisen korkean älykkyysosamäärän lasta (ÄO:n mediaani 186, keskipoikkeama 11 – noin yksi lapsi kymmenestä tuhannesta) kymmenen vuoden ajan, alle 13-vuotiaasta lähtien. 95% seurattavista olivat nopeuttaneet opiskeluaan jollain tapaa, kuten käymällä yliopistokursseja vielä lukiossa ollessaan, ja 71% oli kokemaansa nopeutukseen tyytyväisiä, tyytymättömistä valtaosan toivoessa että olisivat opiskelleet vielä nopeammin. 93% oli ehtinyt hankkia alemman yliopistotutkinnon ja 56% tavoitteli tohtorin tutkintoa. Vertailun vuoksi, Yhdysvalloissa ÄO:ltaan korkeimmasta yhdestä prosentista vain 25% ja koko väestöstä vain 1% suorittaa tohtorin tutkinnon.

Korkea g lisää myös yksilön todennäköisyyttä elää pitkään. Kaikille Skotlannissa vuonna 1921 syntyneille ja vuonna 1932 koulua käyneille lapsille tehtiin älykkyystesti, jonka tulokset olivat saatavina vielä nykypäivänäkin. Whalley & Deary (2001) ottivat tarkasteltavakseen Aberdeenin kaupungin, jossa 2792 lasta teki kyseisen testin, ja saivat jälkikäteen jäljitettyä heistä 2230 lapsen kohtalot. Niillä ryhmien jäsenillä, jotka saivat aikoinaan parhaat pisteet testissä, oli korkein todennäköisyys olla elossa vielä vuonna 1997 ( $p < 0.0001$ ). Vertailtaessa kahta ryhmää yksilöitä, joista toisella oli yhden keskihajonnan korkeampi ÄO kuin toisella, oli alemman ÄOn ryhmällä

---

3 Tässä raportoiduissa korrelaatioissa \* =  $p < .01$ , \*\* =  $p < .05$ . Tähdien puute tarkoittaa ei-merkitsevää korrelaatiota.

79% todennäköisyys olla elossa vuonna 1997 verrattuna korkeamman ÄOn ryhmään. Vertailtaessa yksilöitä jotka olivat kahden keskihajonnan päässä toisistaan oli matalamman ÄOn ryhmällä 63% todennäköisyys olla elossa korkeampaan verrattuna. Korkeamman tuloksen saaneilla miehillä oli tosin ollut tavallista korkeampi todennäköisyys menehtyä toisen maailmansodan aikana, mahdollisesti koska nämä joutuivat vaarallisempiin tehtäviin ja otettiin herkemmin asepalvelukseen. Tulos pysyi pääsääntöisesti ennallaan, vaikka siitä kontrolloitiin sosiaaliluokka huonompien lapsuuden asuinolosuhteiden perusteella.

*g* ei luonnollisestikaan ole ainoa tekijä, joka vaikuttaa työsuoriutumiseen tai menestykseen elämässä. Eksperttitystutkimuksessa on arvioitu, että alalta kuin alalta tarvitsee harjoitusta vähintään kymmenen vuoden ajalta tullakseen sen asiantuntijaksi - olipa sitten lapsinero tai tavallisella älykkyydellä varustettu (Ericsson 1996). Soittotaidossa harjoituksen määrä, *g* ja musiikillinen lahjakkuus ovat kaikki merkittäviä taitoon vaikuttavia osatekijöitä – ja *g*:n ja musiikillisen lahjakkuuden vaikutus käy suhteellisesti vähäisemmäksi kun siirrytään korkeammille tasoille (Ruthsatz et al. 2008). Myöskään esimerkiksi shakissa, jossa pitkälti opetellaan hahmottamaan shakkilaudan tilannetta ja reagoimaan tietynlaisiin kuvioihin, ei *g*:llä ole kovinkaan suurta vaikutusta (Bilalić et al. 2007).

## **7. Vastauksia joihinkin älykkyystestauksen kritiikkeihin**

Älykkyystestausta kritisoidaan usein mm. sillä, että testeihin on jossain määrin mahdollista harjoitella, ja testit ovat usein kulttuurisidonnaisia tai vaikuttavat testaavan enemmänkin eri faktojen tuntemusta kuin minkäänlaista yleistä ”älykkyyttä”.

Mahdollisuus harjoitella älykkyystesteihin ei kuitenkaan poista niiden validiteettia. Niihin on mahdollista harjoitella, mutta tästä seuraava pistetulosten kasvu on ”tyhjää” – parantunut tulos ei heijastu tosimaailman pärjäämisessä (Jensen 1998). Moniin testeihin liittyykin puhtaan abstrakteja tehtäviä, jollaisiin ei tavallisessa arkielämässä törmää. Tällöin testin tekeminen kylmiltään mittaa raakaa *g*:tä sekä mahdollisia testispesifisiä lahjakkuuksia kuten keskittymiskykyä. Testin harjoittelu parantaa pistetulosta, mutta ei enää anna oikeaa kuvaa pohjalla olevista kyvyistä.

Toisentyypiset älykkyystestit taas mittaavat nimenomaan sellaista osaamista ja tietoa, jota tulee arkielämässä harjaannutettua. Ääriesimerkki tästä voisivat olla vertailutehtävät (”leijona on seepralle kuten kissa on...?”) tai sanavaraston suuruutta mittaavat sanaselitystehtävät. Nämä eivät monien silmään vaikuta todellista älykkyyttä mittaavilta, koska ne mittaavat opittua tietoa, ja

antavat esimerkiksi suomalaista kulttuuria ja kieltä tuntemattomille maahanmuuttajille alempia pisteitä kuin pitäisi.

Kuitenkin nämä tehtävät toimivat silloin, kun kaikki koehenkilöt *ovat* kasvaneet siinä samassa kulttuurissa, johon tehtävä pohjautuu. Induktiivista ja deduktiivista päättelyä vaativat testit ovat (yhdessä avaruudellisen sekä kvantitatiivisen päättelyn ja sanallisen tietämyksen ja päättelyn kanssa) tyypillisesti *g*-latautuneimpia testityyppejä. Esimerkiksi sanavarasto karttuu pääosin sitä kautta, että kuulee toisten toistuvasti käyttävän jotakin sanaa ja päättelee lauseen konteksteista, mitä sana tarkoittaa. Ihmiset, joilla on korkea *g*, tarvitsevat keskimäärin vähemmän vihjeitä päätelläkseen jonkin sanan merkityksen, ja laajentavat siten sanavarastoaan nopeammin. Sama koskee yleistä tietämystä mittaavia testejä. (Jensen 1998) Useassa tutkimuksessa on vastaavasti havaittu, että etenkin kompleksissa töissä korkeamman *g*:n yksilöt saavuttavat vähemmällä harjoituksella paremman työsuoriutumisen tason kuin alemman *g*:n yksilöt (Gottfredson 1997b). Toisaalta *g* vaikuttaa myös siihen, miten aktiivisesti ihmiset itse keräävät tietynlaista tietoa. Jos uusien sanojen merkityksen päättelemiseen menee paljon aikaa ja vaivaa, ei todennäköisesti lue paljon uusia termejä vilisevää tekstiä ellei ole pakko - jolloin tällöinkin matala *g* heijastuu suppeana sanavarastona. Pelkkä sanavarastotesti ei pystyisi erottamaan korkean *g*:n ja pelkän hyvän kielipään välillä, mutta asian voi korjata yhdistämällä sen testeihin jotka mittaavat esimerkiksi matemaattista päättelykykyä. Jos koehenkilö saa hyvät pisteet molemmista, on hänellä todennäköisemmin myös korkea *g*. Tämä on yksi oleellinen syy sille, miksi testit ovat aina spesifejä sille väestölle, jolle se on alunperin normitettu. (Jensen 1998)

### **7.1. Flynnin efekti**

Flynnin efektiksi kutsutaan sitä ilmiötä, että älykkyystestien raakapisteet ovat länsimaissa kasvaneet tasaista tahtia. Ilmiön dokumentoi ensimmäisenä James Flynn (1987), joka keräsi testituloksia 14 eri maasta ja huomasi raakapisteiden nousun yhden sukupolven aikana vastaavan 5-25 ÄO-pisteen nousua (15 pisteen keskihajonnalla). Esimerkiksi Alankomaiden puolustusvoimat teetättävät noin 80 prosentille 18-vuotiaista miehistä Ravens Progressive Matrices-testiin perustuvan älykkyystestin, jossa on 40 kysymystä. Vuonna 1952 testatuista miehistä 31,2 % vastasi oikein useampaan kuin 24 kysymykseen, ja vuosina 1981-1982 testatuista jo 82,2 %!

Raakapisteiden kasvu on sittemmin hidastunut. Teasdale & Owen (2000) arvioivat tanskalaisille asevelvollisille tehtyjen testien perusteella, että vuonna 1988-1998 kasvua oli vain yhden ÄO-pisteen verran siinä missä kolmena aiempaan vuosikymmenenä kasvua oli 2, 3 ja 4 pistettä. Vuosien

1998 ja 2004 välillä tulokset laskivat noin 1,5 ÄO-pistettä vastaavan määrän (Teasdale & Owen 2008). Sundet ja Barlaug ja Torjussen (2003) taas tarkastelivat norjalaisia asevelvollisia, joiden keskuudessa raakapisteiden keskiarvon muutos vastasi 8,6 ÄO-pisteen nousua 1954-1969, 1,4 ÄO-pisteen nousua 1970-1976, 1,2 ÄO-pisteen laskua vuodesta 1978 1980-luvun alkuun ja 3 ÄO-pisteen nousua 1980-luvun alusta 1990-luvun keskivaiheille. 1990-luvun keskivaiheilta vuoteen 2004 tulokset laskivat taas.

Flynn (2007) esittää, että ilmiö ei johdu minkään yleisen älykkyystekijän parantumisesta vaan alakohtaisten taitojen parantumisesta. Mikäli Flynnin efekti olisi esimerkiksi merkki yleisestä työmuistin paranemisesta, sukupolvien välisten erojen tulisi olla kenen tahansa havaittavissa. Raakapisteissä mitattu keskimääräinen tulos muutama sukupolvi sitten vastaisi selkeästi henkisesti jälkeenjääneiden saamia raakapistetuloksia nykypäivänä. Eri alatestien tulokset eivät myöskään ole parantuneet samassa tahdissa niiden g-latautuneisuuden kanssa, vaan joissakin hyvin g-latautuneissa testeissä on ollut vähemmän parannusta kuin vähemmän latautuneista. Flynn käyttää tästä urheilumetaforaa: voisimme löytää urheilijoista faktorin, joka mittaisi heidän yleistä kuntoaan ja urheilullista suorituskyykyään. Oletetaan nyt, että 100 metrin juoksu, estehyppy ja korkeushyppy olisivat suunnilleen yhtä latautuneita tälle faktorille. Tällöin yhdessä hyvät urheilijat olisivat keskimäärin yhtä hyviä myös kahdessa muussa. Mutta jos yhtäkkiä sosiaaliset normit muuttuisivat ja ihmiset alkaisivat harjoittelemaan pelkästään pikajuoksua, näkisimme pikajuoksuajkojen parantuvan ilman vastaavaa parannusta kahdessa muussa lajissa, eikä tässä pitäisi olla mitään yllättävää. Flynn esittää vastaavasti, että nykylapset ovat mm. omaksuneet abstraktin ajattelun ja tieteellisen maailmankuvan paremmin kuin aiemmat sukupolvet vastaavassa iässä. Myös esimerkiksi videopelien ja televisio-ohjelmien kognitiiviset vaatimukset ovat kasvaneet ajan myötä. Tämä auttaa pärjäämään paremmin osassa testejä.

Flynnin selitystä vastaan tosin puhuu se, että englantilaisilta lapsilta saaduissa tuloksissa on näkynyt voimakasta laskua abstraktia päättelyä mittaavissa testeissä. Shayer & Ginsburg & Coe (2007) osoittivat, että 11-12 -vuotiaiden testitulokset olivat vuosina 2000-2001 mitattuina selkeästi alhaisemmat kuin vuonna 1975-1976, ja että lasku jatkui seuraavan kolmen vuoden aikana. Vuosina 1975-1976 33 prosenttia pojista ja 24 prosenttia tytöistä saavutti tason 6 tai 7 käytetyssä formaalia ajattelua mittaavassa skaalassa. Vuosina 2000-2001 vain 15 prosenttia pojista ja 8 prosenttia tytöistä saavutti sen, siinä missä 2003-2004 vastaavat luvut olivat enää 6 ja 5 prosenttia. Shayer & Ginsburg (2009) löysivät myös merkittävää pudotusta testatessaan 13-14 -vuotiaiden tasoa vuosina 2006-2007 ja verratessaan sitä vuoden 1976 tasoon.

Ajatus ympäristön vaikutuksesta on pintapuolisesti ristiriidassa sen huomion kanssa, että perinnöllisillä tekijöillä on hyvin voimakas vaikutus g:hen. Niiden vaikutus kasvaa ihmisen varttuessa. (Bouchard & McGue 1981, Bouchard 2004) Esimerkiksi lapsen adoptointi saattaa kasvattaa hänen testipisteitään lapsuudessa, mutta aikuisikään mennessä hänen perimänsä vaikutus on alkanut dominoimaan (Jensen 1998). Flynn (2007) esittää selitykseksi, että tietynlaiset geenit saavat ilmentyessään kantajansa hakeutumaan tietynlaisiin ympäristöihin. Lapset joilla on lahjoja johonkin tiettyyn asiaan huomataan ja heitä kannustetaan harrastamaan sitä asiaa, ja he kokevat sen myös luontaisesti motivoivana ja hakeutuvat siihen oma-aloitteisesti. Lapsuudessa ihmiset ovat vanhempiensa vaikutuspiirissä, ja vanhemmat saattavat ohjata heitä harrastamaan virikkeellisempiä asioita kuin mitä he muuten harrastaisivat. Sitä mukaa kun he alkavat hallita omaa elämäänsä enemmän, hakeutuvat he todennäköisimmin sellaiseen ympäristöön joka täsmää tarkimmin heidän lahjoihinsa.

Flynn (2007) huomauttaa, että raakapisteiden kasvun selittäminen esimerkiksi pelkällä ravinnon laadun parantumisella olisi paljon kyseenalaisempi hypoteesi. Jotta se ei näkyisi perinnöllisyyttä mittaavissa tutkimuksissa, tulisi kaikkien lasten saaman ravinnon laadun kasvaa yhtä paljon, vaikka joillakin lapsilla on selkeästi köyhemmät vanhemmat kuin toisilla. Sen sijaan on hyvinkin mahdollista, että sekä hyvälaatuisten että huonolaatuisten ympäristöjen taso kasvaa ajan myötä, mutta suhteelliset erot niiden välillä pysyvät samoina. Koska perimä ohjaa yksilöiden hakeutumista erilaisiin ympäristöihin, näkyy se perinnöllisyystutkimuksissa perimän dominoivana vaikutuksena.

## **7.2. g-faktorin yksilöllinen pysyvyys**

Flynnin teoria jättää jossain määrin avoimeksi sen, missä määrin Flynnin efekti on vain testiharjoitusta ja missä määrin se lisää todellista suoriutumista. Jensen (1998) kuvaa useita kokeita, joissa on pyritty nostamaan yksilöiden g:tä, mutta on päädytty nostamaan vain heidän pisteitään tietynlaisissa kokeissa. Myös monissa työmuistiharjoituksissa on perinteisesti ollut ongelmana, että kuten älykkyystestiin harjoittelemisessa, niiden hyödyt ovat olleet ”tyhjiä”. Ne ovat kyllä kasvattaneet yksilöiden suoriutumista harjoituksissa, mutta tämä ei ole siirtynyt laajempaan työmuistiin muilla osa-alueilla. Shakkimestari on hyvä muistamaan tuhansia eri shakkilaudan kuvioita, mutta ei muista päivittäistä ostoslistaansa sen paremmin kuin muutkaan.

Tuoreeltaan on kuitenkin raportoitu, että työmuistin testaamiseen käytettyä niin sanottua dual n-back -testiä voidaan käyttää myös yleiseen työmuistin sekä g:n harjoittamiseen (Jaeggi et al. 2008,

Klingberg et al. 2005, Klingberg & Forssberg & Westerberg 2002). N-back -testissä koehenkilölle esitetään tietynlaisia aistiärsykeitä, esimerkiksi eri kirjaimia joko kuvallisessa muodossa tai ääneen lausuttuna. Koehenkilön tehtävänä on ilmoittaa, onko esitetty kirjain sama kuin se, joka esitettiin  $n$  askelta sitten. Dual n back-testissä esitetään samanaikaisesti kaksi eri ärsykettä jotka molemmat pitää yrittää muistaa, esimerkiksi yksi visuaalinen ja yksi auditiivinen. Se on ensimmäisiä tapoja, jolla näyttäisi olevan vaikutusta  $g$ :hen myös yleisesti.

Työmuistiin voi vaikuttaa myös kemiallisesti. ADHD-lääkityksenä käytettävän metyyliifenidaatin on raportoitu parantavan työmuistia vaikuttamalla sitä ottaneiden vapaaehtoisten aivoihin (Mehta et al. 2000), ja parantamalla näiden testituloksia lumelääkettä ottaneisiin verrokkiyksilöihin verrattuna. Se tehostaa työmuistia ja suoriutumista sitä vaativissa tehtävissä, joskin saa myös reagoimaan tutulta vaikuttavissa tilanteissa nopeammin, ennen kuin tehtävä on ajateltu täysin loppuun asti (Elliott et al. 1997). Eräs toinen aine vaikutti työmuistin ”normalisoijana” - se paransi työmuistia niillä, joilla se oli huono, ja heikensi sitä niillä, joilla se oli hyvä (Kimberg et al. 1997).

Ilman erillistä harjoitusta  $g$  on syntymän jälkeen jossain määrin vakaa halki elämän. Jo alle neljän kuukauden ikäisiltä vauvoilta voidaan esimerkiksi katseen perusteella mitata, miten nopeasti nämä kiinnittävät huomionsa tietokoneen ruudulla näkyviin kuvioihin ja löytävät niistä säännönmukaisuuksia. Nämä tulokset ennustavat kohtalaisen hyvin lasten älykkyyttä muutamaa vuotta myöhemmin mitattuna. (Dougherty & Haith 1997) Myös muilla vastaavilla testeillä, kuten sillä miten nopeasti vauvat lakkaavat kiinnittämästä huomiota uusiin ärsykkeisiin (miten nopeasti ne saavat muodostettua niistä tutun käsitteen), voidaan saada viitettä myöhemmin lapsuudessa mitattavasta älykkyydosamäärästä (Rose & Feldman 1995, McCall & Carriger 1993). Vastaavasti lapsuusiässä mitattu  $g$  antaa osviittaa aikuisiän tuloksesta, joskaan ei niin hyvin, että sen perusteella voitaisiin tehdä luotettavia ennusteita yksittäisten lapsien tulevista testituloksista (McCall 1977).

## 8. Yhteenveto

1900-luvun alussa ajateltiin, että älykkyyttä mitattaisiin parhaiten mahdollisimman yksinkertaisilla, matalan tason kykyihin kohdistuvilla testeillä (Sternberg & Jarvin 2001). Charles Spearmanin ja Alfred Binetin jälkeen testaus alkoi kohdistua korkeamman tason päättelyyn. Yksimielisyyttä ei ole siitä, mittaavatko nykyisetkään testit todella ”älykkyyttä”. Varmaa kuitenkin on, että vaikka faktorianalyysi saattaisikin muuten paljastaa tekijöitä joilla ei ole tosielämän vastinetta,  $g$ :tä mittaavat testit mittaavat jotakin jolla on sekä biologinen että funktionaalinen pohja.

g onkin kiinnostava sekä teoreettisesti että käytännön kannalta. Sen korrelaatiot antavat vihjeitä ihmiskognition toimintatavoista niin biologisella kuin funktionaalisellakin tasolla, ja käytännön puolella sen antamia tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi koulutuspolitiikassa ja henkilöstön valikoinnissa. Käytännön jatkotutkimuksen kannalta erityisen lupaavia ovat tulokset, joiden mukaan yksilöiden g:tä voisi olla mahdollisuus harjoittelun tai lääkkeiden avulla nostaa. Mikäli tulokset g:n merkittävästä vaikutuksesta arkielämään pitävät paikkansa, voisi mahdollisuus korottaa omaa g:tään hyödyttää ihmisiä huomattavasti. Teoreettisella puolella kiinnostavaa olisi pyrkiä selvittämään, mikä tarkkaan ottaen on g:n funktionaalinen rooli ajattelussa.



## Lähdeviitteet

- Anastasi, A. (1992) What counselors should know about the use and interpretation of psychological tests. *Journal of Counseling and Development*, 70, 610–615.
- Bilalić, M. & McLeod, P. & Gobet, F. (2007) Does chess need intelligence? - A study with young chess players. *Intelligence*, 35, 457–470.
- Bouchard, T.J. Jr. (2004) Genetic Influence on Human Psychological Traits. *Current Directions in Psychological Science*, 13, 148–151.
- Bouchard, T.J. Jr. & McGue, M. (1981) Familial studies of intelligence: a review. *Science*, 212, 1055–1059.
- Chiang, M-C. & Barysheva, M. & Shattuck, D.W. & Lee, A.D. & Madsen, S.K. & Avedissian, C. & Klunder, A.D. & Toga, A.W. & McMahon, K.L. & de Zubicaray, G.I. & Wright, M.J. & Srivastava, A. & Balov, N. & Thompson, P.M. (2009) Genetics of Brain Fiber Architecture and Intellectual Performance. *The Journal of Neuroscience*, 29, 2212–2224.
- Colom, R. & Flores-Mendoza, C.E. (2007) Intelligence predicts scholastic achievement irrespective of SES factors: Evidence from Brazil. *Intelligence*, 35, 243–251.
- Cooper, J.C.B. (1983). Factor Analysis: An Overview. *The American Statistician*, 37, 141–147.
- Deary, I.J. (2001) Human intelligence differences: a recent history. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 127–130.
- Dougherty, T. M., & Haith, M. M. (1997) Infant expectations and reaction time as predictors of childhood speed of processing and IQ. *Developmental Psychology*, 33, 146–155.
- Duncan, J. & Seitz, R.J. & Kolodny, J. & Bor, D. & Herzog, H. & Ahmed, A. & Newell, F.N. & Emslie, H. (2000) A Neural Basis for General Intelligence. *Science*, 289, 457–460.
- Elliott, R. & Sahakian, B.J. & Matthews, K. & Bannerjea, A. & Rimmer, J. & Robbins, T.W. (1997) Effects of methylphenidate on spatial working memory and planning in healthy young adults. *Psychopharmacology*, 131, 196–206.
- Ericsson, K.A. (1996) The Acquisition of Expert Performance: An Introduction to Some Issues. Teoksessa *The Road to Excellence - The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports and Games*, toimittanut K.A. Ericsson.
- Flynn, J.R. (1987) Massive IQ Gains in 14 Nations: What IQ Tests Really Measure. *Psychological Bulletin*, 101, 171–191.
- Flynn, J.R. (2007) *What is Intelligence?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Galton, F. (1907) *Inquiries into Human Faculty and Its Development*. Toinen laitos. New York: E.R. Dutton & Co. Sähköinen näköispainos 2004, <http://galton.org/books/human-faculty/>
- Gottfredson, L. (1997a) Mainstream science on intelligence: an editorial with 52 signatories,

- history, and bibliography. *Intelligence*, 24, 13–23.
- Gottfredson, L. (1997b) Why g Matters. *Intelligence*, 24, 79–132
- Gould, S.J. (1981). *The Mismeasure of Man*. New York: Norton.
- Gray, J.R. & Thompson, P.M. (2004) Neurobiology of intelligence: science and ethics. *Nature reviews Neuroscience*, 5, 471–482.
- Jaeggi, S.M. & Buschkuhl, M. & Jonides, J. & Perrig, W.J. (2008) Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 6829–6833.
- Jensen, A.J. (1998) *The g Factor – The Science of Mental Ability*. Praeger.
- Kimberg, D. Y., D’Esposito, M. & Farah, M. J. (1997) Effects of bromocriptine on human subjects depend on working memory capacity. *Neuroreport*, 8, 3581–3585.
- Klingberg, T. & Fernell, E. & Olesen, P.J. & Johnson, M. & Gustafsson, P. & Dahlström, K. & Gillberg, C.G. & Forsberg, H. & Westerberg, H. (2005) Computerized Training of Working Memory in Children with ADHD – A Randomized, Controlled Trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 177–186.
- Klingberg, T. & Forsberg, H. & Westerberg, H. (2002) Training of Working Memory in Children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
- Legg, S. & Hutter, M. (2007) A Collection of Definitions of Intelligence. *arXiv.org*.  
<http://arxiv.org/abs/0706.3639>
- Lubinski, D. & Webb, R.M. & Morelock, M.J. & Benbow, C.P. (2001) Top 1 in 10,000: A 10- year follow-up of the profoundly gifted. *Journal of Applied Psychology*, 86, 718–729.
- McCall, R.B. (1977) Childhood IQ's as Predictors of Adult Educational and Occupational Status. *Science*, 197, 482–483.
- McCall, R. B., & Carriger, M. (1993) A meta-analysis of infant habituation and recognition memory performance as predictors of later IQ. *Child Development*, 64, 57–79.
- McDaniel, M.A. (2005) Big-brained people are smarter: A meta-analysis of the relationship between in vivo brain volume and intelligence. *Intelligence*, 33, 337–346.
- Mehta, M.A. & Owen, A.M. & Sahakian, B.J. & Mavaddat, N. & Pickard, J.D. & Robbins, T.W. (2000) Methylphenidate enhances working memory by modulating discrete frontal and parietal lobe regions in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 20, RC65.
- Neubauer, A.C. & Fink, A. & Schrausser, D.G. (2002) Intelligence and neural efficiency: The influence of task content and sex on the brain–IQ relationship. *Intelligence*, 30, 515–536.
- Oberauer, K & Schulze, R. & Wilhelm, O. & Süß, H-M. (2005) Working memory and intelligence - their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier and Boyle. *Psychological*

*Bulletin*, 131, 61–65.

- Oberauer, K. & Süß, H.-M. & Wilhelm, C. & Wittmann, W.W. (2008) Which working memory functions predict intelligence? *Intelligence*, 36, 641–652.
- Rose, S.A., & Feldman, J. F. (1995) Prediction of IQ and specific cognitive abilities at 11 years from infancy measures. *Developmental Psychology*, 31, 685–696.
- Ruthsatz, J. & Detterman, D. & Griscom, W.S. & Cirullo, B.A. (2008) Becoming an expert in the musical domain: It takes more than just practice. *Intelligence* 36, 330–338.
- Shalizi, C.R. (2007) g, a Statistical Myth. *Three-Toed Sloth* -blogi [noudettu 1. joulukuuta 2010], saatavilla osoitteesta <http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/weblog/523.html>.
- Shayer, M. & Ginsburg, D. (2009) Thirty years on – a large anti-Flynn effect? (II): 13- and 14-year olds. Piagetian tests of formal operations norms 1976-2006/2007. *British Journal of Education Psychology*, 79, 409–418.
- Shayer, M. & Ginsburg, D. & Coe, R. (2007) Thirty years on – a large anti-Flynn effect? The Piagetian test Volume & Heaviness norms 1975-2003. *British Journal of Education Psychology*, 77, 25–41.
- Spearman, C. (1904). “General intelligence,” objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201–292.
- Sternberg, R.J. & Jarvin, L. (2001) Binet, Alfred (1857-1911). Teoksessa *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*, toimittaneet Smelser, N.J. & Baltes, P.B. s. 1180–1184. Oxford: Elsevier.
- Sundet, J.M. & Barlaug, D.G. & Torjussen, T.M. (2004) The end of the Flynn effect? A study of secular trends in mean intelligence test scores of Norwegian conscripts during half a century. *Intelligence*, 32, 349–362.
- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. (2001) Using multivariate statistics: fourth edition. Allyn & Bacon.
- Teasdale, T.W. & Owen, D.R. (2000) Forty-Year Secular Trends in Cognitive Abilities. *Intelligence*, 28, 115–120.
- Teasdale, T.W. & Owen, D.R. (2008) Secular declines in cognitive test scores: A reversal of the Flynn Effect. *Intelligence*, 36, 121–126.
- Thienpoint, K. & Verleye, G. (2004) Cognitive Ability and Occupational Status in a British Cohort. *Journal of Biosocial Science*, 36, 333–349.
- Toga, A.W. & Thompson, P.M. (2005) Genetics of Brain Structure and Intelligence. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 1–23.
- Whalley, L.J. & Deary, I.J. (2001) Longitudinal cohort study of childhood IQ and survival up to age 76. *British Medical Journal*, 322, s. 819–822.