

8. A gyenge kapcsolatok és az élőlények stabilitása

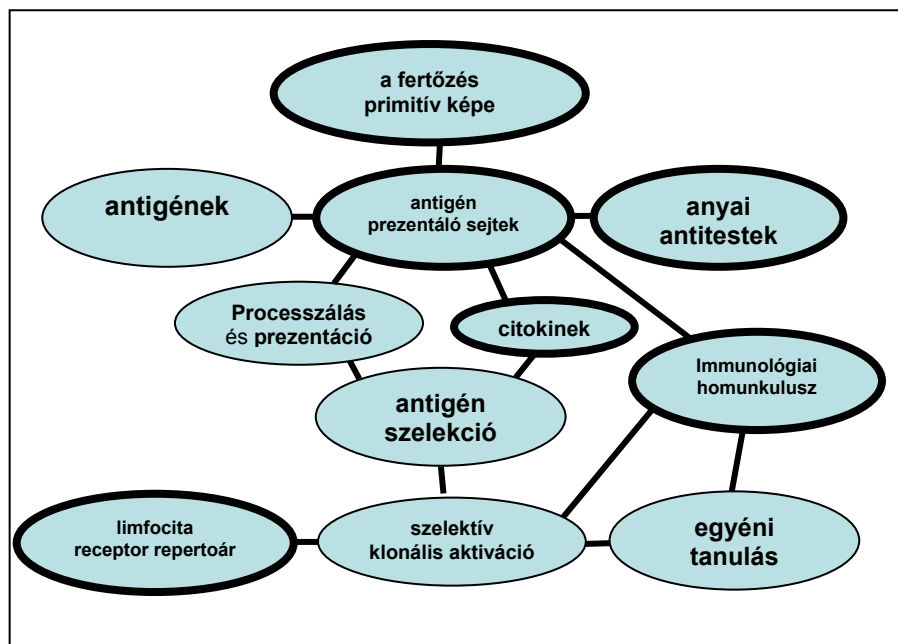
Jó hírem van mindenki számára, aki az előző fejezetet Kekeccel és velem együtt milliomodnyira töppedt törpeként szenvedte végig: visszánőhetünk! A Hálóvilágban tett utunk harmadik része ismerősebb tájakon vezet. Ez a fejezet rólunk szól. Érdeemes a tükörbe nézni. Ismerős arc mosolyog. Tényleg ismerős? Néztünk már valaha úgy a tükörbe, hogy elgondoltuk: egy hálózat mosolyog vissza ránk? A testünk: sejtek és szervek hálózata. E hálózatok a Hálóvilág mostohagyermekai. A sejtek molekulák felől közelítve túl bonyolultak, a társadalom felől közelítve meg túl jelentéktelenek ahhoz, hogy a hálózatok alapelveinek gyakorlóterepeként szolgáljanak. Van más nehézség is itt. Elemek és modulok keverednek. Egy szerv néha a sejtes hálózat eleme, néha meg az őt alkotó sejtek modulja. A kölcsönhatások is keverednek. Ezért kell néha majd az állatvilágból hoznom példákat arra, hogy megérthessük a saját testünk működését. Előre is elnézést kérek ezért. Érdeemes azonban nekivágni, mert a nehézség éppen azt jelzi: van még mit tenni, mást vagy máshogy kell alkalmazni itt, mint a többi szinteken.

8.1. Immunhálózatunk

Az immunrendszer vezénylő tábornokainak a természet újra meg újra három óriási kérdést tesz fel: (a) Mit támadjunk? (Hogyan különböztessük meg a barátot és az ellenséget?); (b) Mikor támadjunk? (Milyen környezetben válik az ellenség baráttá és a barát ellenséggé?) és (c) Hogyan támadjunk? (Mivel? Meddig? Pontosan mit? Pontosan hogyan?). Erre a rendkívül bonyolult kérdéssorra csak egy komplex hálózat segítségével lehet megtalálni a választ (Cohen 1992a). Így nem meglepő, hogy az immunsejtek alkotják a szervezetünkben előforduló talán legbonyolultabb hálózatot. E hálózatban minden elem különbözik a másiktól; az elemek folyamatosan halnak el, és keletkeznek megint; a hálózat felépítése állandóan változik, végül: az elemek között a citokinek és más mediátorok számos, hosszú távú kapcsolatot létesítenek. Ez a hálózat adja talán a legtöbb olyan eseményt a szervezeten belül, amelyek a stabilizációt igénylő zavart folyamatosan újratermelik.

Az immunhálózatok gondolatát először *Niels K. Jerne* (1974, 1984) vetette fel, amikor bevezette az idiotípusok hálózatának fogalmát, azaz egy olyan hálózatot definiált, amelyben az antigén ellen termelődött antitest maga is antigén egy újabb antitest számára. A második antitest újra antigén a harmadik antitest számára és így tovább. Később az immunhálózatokat kiterjesztették a természetes auto-antitestekre

(amelyet immunológiai homunkulusznak vagy immunkulusznak neveztek el; 10. ábra; Cohen, 1992a; 1992b), a citokinekre és az immunrendszer más elemeire is.



10. ábra. **Az immunológiai homunkulusz, az immunkulusz kapcsolatai.** Az ábrán az auto-antitestek hálózatának, az immunkulusznak a kapcsolatrendszerét mutatom be Cohen (1992b) után. A vastag vonallal körbekerített elemek maguk is külön-külön sokszáz, vagy akár sokmillió elemmel rendelkező, komplex hálózatok.

Az immunhálózatok rendelkeznek a hálózatok összes olyan fontos tulajdonságával, amelyet a 3. fejezetben már megtanultunk. A B és a T limfociták hálózatai egyaránt skálafüggetlen eloszlásban reagálnak az antigénekkal (Burgos, 1996). Ha az immunhálózat skálafüggetlen, akkor a fraktál-szerkezet önhasonlóságának is valahol jelentkeznie kell benne. Valóban, már Jerne (1984) megjegyezte, hogy az immunrendszer “hálózatilag teljes”: ha random módon képesek lennénk kiiktatni a B limfociták által termelt antitestek 90%-át, a maradék antitestek még mindig egy teljes immunválaszt fednének le. Ez a töpörített, de még egészen működőképes immunrendszer nagymértékben hasonlít a 3.2. fejezetben bemutatott töpörített, de még egészen Bach-szerű Bach-hoz.¹

A immunhálózatok tulajdonságai közül az állandóan változó modulok talán a legfontosabbak. A modularitás segít abban, hogy a természetes auto-antitesteket, az immunkuluszt elkülönítsük a szerzett immunválasztól. A moduláris szerkezet a felelős azért is, hogy az immunrendszer aktivációja stabil, és ha kell, lokális legyen. Ez az alapja az immunológiai memóriának is (Cohen és Young, 1991; Varela és Coutinho, 1991; Weisbuch és mtsai, 1990). A modulok az immunrendszeren belül nem csak azon

¹Azon Olvasók számára, akik a 3. fejezetet nem olvasták el, vagy már nem emlékeznek rá, hadd jegyezzem meg, hogy a töpörített Bach nem egyfajta tartósítási forma egy pápua új-guineai kannibálmúzeum zenei részlegében (ahol a turisták a töpörített Mozart-tal együtt a másolatokat hamutartónak hazavihetik), hanem egy egyszerűsített, de az eredetihez hasonló zenedarab, amelyből a hangjegyek jelentős részét kivettük (Hsu és Hsu, 1991).

immunológus kutatók kedves játékaik, akik a megértés elősegítésére néhány immunsejtet ceruzával körbekerikáznak, és ezzel a többiektől „modulként” elrekesztenek. Az immunológiai modulok elkülönülése az oszcillátorok Winfree (1967) által leírt szigetszerű szinkronizációjára, valamint a bináris hálózatok Kauffman (1969) által elemzett, ugyancsak szigetképző viselkedésére hasonlít, azaz a hálózat viselkedéséből a megfigyelő szándékaitól függetlenül is következő szerveződési elem. Az immunológiai hálózatok általánosságából kiindulva az immunháló, és a modulok torzulásai igen jó kiindulási alapként szolgálhatnak a legkülönbözőbb betegségek kimutatására (Poletaeu és Osipenko, 2003).

Az immunhálók dinamikus tulajdonságai már a kialakulásuk során megmutatkoznak. Az újszülöttek B limfocita klónjai a kezdetben jónéhány tucat szomszédos klónnal tartanak kapcsolatot. Ez igen hamar csökkenésnek indul, egészen addig, ameddig a szomszédos klónok száma 6 és 9 közé nem kerül. A kevesebb szomszéd közül jónéhány a külső behatásokra erősebb kötással, és igen tömeges antitest-termeléssel válaszol (De Boer és Perelson, 1991). E változásokkal összhangban, a B sejt készlet is egyre fogy, ahogy az egyhetes kiscsiga kéthetessé cseperedik (Burgos, 1996). A változások nagymértékben hasonlítanak a 4.4. fejezetben leírt random \rightarrow skálafüggetlen háléváltásra, amelyben a kezdeti, elég alacsony komplexitású, de gyakori kötődést tartalmazó random hálózat egy sokkal magasabb komplexitású, de „mostohább” körülmények között fejlődő, kevesebb kapcsolatot tartalmazó skálafüggetlen hálóvá alakul.

Fejlődése alatt az immunháló új elemeket (limfocita klónokat) von be, régieket szüntet meg, és az elemek kötődését is megváltoztatja. Így az immunválasz kiterjedésének – az immunháló perkolációjának – széles szélső értékek közötti szabályozása valósul meg. Néhány antigén esetén csak nagyon célzott, akár csak egy limfocita klónt mozgósító válasz keletkezik. Más antigének esetén pedig, az immunháló egészen nagy része – modulja – aktiválódik, és a klónok egymást szabályozva járulnak hozzá a végső válasz kialakulásához (Brede és Behn, 2002; DeBoer és Perelson, 1991). A fentiekben is említett kapcsolatsűrűség nagy hatással van a végleges immunválaszra. Ha az immunháló elemeit alig kötik össze kapcsolatok, a háló válaszképtelen. Ez elég magától értetődő, hiszen a háló ilyenkor nem is létezik. Érdekes módon, ha a kapcsolatok száma túl nagy: az sem jó (DeBoer és Perelson, 1991; Varela és mtsai, 1991). Ez a 4.3. fejezetben leírt hígulásra hasonlít (amikor az adott elem túl sok szomszédal rendelkezik, és így a szomszédok viselkedésére gyakorolt hatása már alig érvényesül). A túl sok szomszéd ott kiszámíthatatlan kaszkádokhoz vezetett (Watts, 2002). Az immunrendszer szerencsénkre úgy tűnik, elkerüli ezt a viselkedést. Az immunháló a skálafüggetlen felépítést időben is mutatja, amikor $1/t$ (rózsaszín) zajnak megfelelő változás sorozatokat ad a természetes antitestek hálózataiban (Lundkvist és mtsai, 1989), amely megbomlik az autoimmun betegségek esetén (Varela és mtsai, 1991).

Zavar úr az immunhálóhoz az antigén képében kopogtat be. Így az immunválasz egy relaxációs folyamatnak is tekinthető (Varela és Coutinho, 1991). Így rögtön érthetőbbé válik a fenti hasonlóság a Watts-féle (2002) kiszámíthatatlan kaszkádokhoz. Az immunháló relaxációja általában viharos. Elemek szűnnek meg, elemek keletkeznek, és

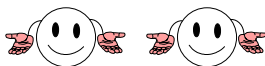
sok esetben a relaxáció végére az egész hálózat átrendeződik. Ezt alátámasztó megfigyelés, hogy a B limfociták készlete antigén hatására kiszélesedik (Burgos, 1996).



Antigén-éhség, mint az immunháló zavarainak alapja.

Érdeemes egy kicsit elgondolkodni a fentiekben. Ha az immunháló relaxációja az antigénre következik be (Varela és Coutinho, 1991), és a születés után nem sokkal az immunháló egy random → skálafüggetlen háléváltáson megy keresztül, akkor a születés előtt a magzati immunhálót a kihívások (antigének) zuhataga borította el. Ezt azonban nem szabad tragédiaként felfogni. A magzat immunrendszere épphogy nem harcol az anya idegen anyaga ellen, hanem az anyai idegen anyagok, a potenciális antigének zuhataga segíti abban, hogy formálatlan, kialakulatlan, és így minden veszélyre felkészült maradjon. Az immunrendszer számára a „bőség”, a forrásgazdagság az antigének bőségét jelenti. Ahogy az agyunk akkor érzi jól magát, ha információk érik és gondolkodhat, az immunrendszerünk is akkor funkcionál helyesen, ha antigének bombázzák lépten-nyomon. Amikor megszülettünk, elszigetelődtünk az anyai antigén zuhatagtól: az immunrendszerünk egyre fokozódó antigén-éhségbe jutott. Ebből a szempontból a jelen kor sterilításra törekvése kifejezetten katasztrófaként értékelhető, hiszen az immunhálót éppen az újabb és újabb antigének képében érkező relaxációtól fosztja meg. A várva várt relaxáció híján nem csoda, hogy az immunhálóban feszültségek gyűlnek fel, amelyek a hálózatkatasztrófák allergiában, autoimmunitásban és immundeficienciában jelentkező egész sorát hozzák elő. A jelen kor emberének immunrendszere már majdnem az antigén-éhség küszöbén van, és folyamatosan közel járhat a csillagháló → izolált szubgráf átmenethez, ami az immunrendszer teljes összeomlásával egyenértékű. Könnyen lehet, hogy nem olyan sokára antigének gondosan összeválogatott „koszinjekcióival” fogjuk immunrendszerünknek magzatkorunk óta sóvárgott, de teljesen soha meg nem kapott relaxációját biztosítani. A gondosan adagolt antigénekkal történő immunkarbantartás a jövő emberének éppen olyan relaxációs foglalatossága lesz, mint a mainak az alvás, az evés vagy a nevetés.

A Burnet-féle (1959) klónszelekciós elmélettel szemben az immun-felismerés későbbi, hálózati modelljei (Jerne, 1974; 1984; Cohen 1992a – lásd 10. ábra) igen sok gyenge kapcsolatot tételeztek fel az immunhálón belül.² Azok a degenerált útvonalak, ahogy az antigének sejtek, mikroorganizmusok és vírusok formájában érkező különféle csomagjai kölcsönhatásba kerülnek az immunrendszerrel, önmagukban is gyenge kapcsolatok kialakulását segítik elő (Brede és Behn, 2002). Az immunhálóról szerzett tudásunk bővülése ellenére ma még igen keveset tudunk a gyenge immun-kapcsolatok stabilizáló szerepéről. Sajnos az immunrendszer kölcsönhatásainak feltérképezése az elemek nagy száma, hihetetlen változatossága, és a rendszer folyamatos átalakulása miatt szinte reménytelen feladat, így a gyenge kapcsolatok szerepének tisztázása minden bizonnyal még egy ideig vártni fog magára. Utolsó megjegyzésként ennek ellenére hadd mutassam be e kapcsolatok lehetséges szerepét egy lehetséges példán.



Az autoimmun oltás fókuszálja, és valószínűleg stabilizálja az immunválaszt. Az oltásokat a jelen kor orvostudománya már messze nem csak a fertőzések leküzdésére használja: az oltások egyre inkább teret nyernek az autoimmun

²Érdeemes megjegyezni, hogy Jerne az immunhálót leíró eredeti közleményében (Jerne, 1974) az antitestek egymás ellen kifejlesztett immunválaszának harmadik generációját (az antitest elleni antitest ellen termelt antitestet) maga is „pufferkészletnek” hívta.

betegségek terápiájában is.³ Az autoimmun oltás az immunkulusz szabályozó kapcsolatainak átrendezésével az immunháló gyenge kapcsolataiba avatkozik bele (Cohen 1992b; 2002). Tétélezzük fel, hogy az autoimmun oltás nemcsak átrendezi, hanem szaporítja is a gyenge kapcsolatokat és így stabilizálja az immunválaszt. „Péter, itt megint túlzottan elragadott a kedvenc ötleted. Ha egy új antigén ellen immunválasz alakul ki, az az immunhálóban erős, és éppen hogy nem gyenge kapcsolatok kialakulásához vezet.” Megint igazad van, Kecec. Az autoimmun oltás valóban erős kölcsönhatásokat alakít ki – az új antigén ellen. Ugyanakkor gondolj bele, hogy ez az erős válasz minden olyan korábbi választ (beleértve az autoimmun válaszokat is), ami korábban erős volt – saját magához képest gyengévé tesz. Ez még akkor is így van, ha a korábbi immunválaszok közben mit sem változnak, és megtartották eredeti erősségüket egy képzeletbeli abszolút skálán. A korábbi erős válaszok tehát az oltás után gyengék lesznek és stabilizálni fognak a korábbi destabilizálás helyett. Ennek egyik konkrét következményeként az immunháló kisebb ingadozásai miatt a tényleges autoimmun válasz ritkábban fogja elérni azt a küszöbértéket, ami felett már káros hatásai megmutatkoznak: a beteg állapota javul. Néhány adat arra utal, hogy e modell fő vonalaiban helyes lehet. Autoimmun betegségek esetén az autoantitestek ingadozásainak skálafüggetlensége elveszik (Varela és mtsai, 1991). Mivel a hálózatok skálafüggetlensége igen gyakran több dimenzióban egyszerre jelentkezik, az időbeli skálafüggetlenség elvesztése együtt járhat a kapcsolaterősségekben és a kapcsolateloszlásban meglévő skálafüggetlenség elvesztésével is. Az autoimmun betegben túl sok lesz a csomópont és az erős kölcsönhatás: az immunháló stabilizálásra szorul. E feltételezéssel összhangban Stewart és mtsai (1989) szerint az autoimmunitás kifejlődése során a limfocita-klónok kölcsönhatásainak száma erősen lecsökken. Az autoimmun oltás visszaállíthatja az immunháló eredeti, skálafüggetlen megoszlását, ahol a gyenge kapcsolatok stabilizáló ereje dominál.

8.2. Transzporthálózatok

“OK, tudom. Itt jön megint a kedvenced, az Oregon-Dél Kalifornia fővezeték, Minden bizonyára érdekes lesz, ahogy a repülőutakat, a futárszolgálatokat és mindazt az elképesztő logisztikát be fogod mutatni, amivel a tél közepén a friss eper az asztalunkra kerül. De mondd, teljesen biztos vagy abban, Péter, hogy ennek a résznek éppen az immunrendszer után kell következnie?” A szívem majd’ megszakad fájdalomában érted, Kecec, hogy még egy kicsit nélkülözned kell a kedvenc fővezetékedet, de rossz híreim vannak: a logisztika tárgyalására csak a 10.4. fejezetben kerül sor. Ez a rész a szervezet transzportrendszereit: az ereinket és a tüdönket fogja megvizsgálni.

Jó hírem is van: rövid leszek. A transzporthálózatokat a 3.2.-es fejezetben, a skálafüggetlenség kapcsán már bemutattam, amikor az allometrikus törvényeket ismertettem. Ezek a törvények tapasztalati úton nyert összefüggések, amelyek az anyagcsere sebességének, a szívverésnek, az élettartamnak, a populáció növekedésének és még sok-sok jellemzőnek a skálafüggetlenségét mutatják be. Mindezen értékek arányosak a testtömeg $3/4$ -ik hatványával. (Hozzá kell, hogy tegyem: nem árt óvatosnak lenni a fenti kijelentéssel, mivel az allometrikus törvények alkalmazása igen sokszor túlzott egyszerűsítésekhez vezetett; Dodds és mtsai, 2001.) Ahogy a 3.2. fejezetben már bemutattam, a $3/4$ -es hatványfüggvényt nehéz megmagyarázni akkor, ha az ember az egyszerű geometriai megfontolásokból indul ki. A fenti példák egyikeként az anyagcsere a felszín függvénye. A tömeg pedig nyilvánvalóan a térfogattal arányos. Ezek kombinációja az észlelt $3/4$ helyett $2/3$ -os hatványfüggvényhez vezetne el. Ugyanakkor, ha az élőlény felszíne helyett a benne rejlő transzportrendszer (pl. vérerek)

³Ez összhangban van az immunrendszer az előzőekben feltételezett antigén-éhségével is.

fraktáljellegű felszínét vesszük figyelembe, már a tapasztalatokkal összhangban lévő, $\frac{3}{4}$ -es hatványfüggvényt kapjuk. A geometriai elemzés tanulsága szerint mind a vérerek, mind a tüdő tényleg skálafüggetlen eloszlású (fraktáljellegű) elágazásokat mutat (Banavar és mtsai, 1999; McNamee, 1991; West és mtsai, 1997). Az allometrikus törvényeket ki lehetett terjeszteni egyedi sejtekre is (West és mtsai, 2002), ami jó egyezésben van a citoplazma skálafüggetlen (fraktálszerű) szerkezetéről vallott elképzelésekkel (Aon és mtsai, 2004b). A skálafüggetlen transzportrendszerek mutatják a legnagyobb hatékonyságot, amely arra utal, hogy sajátos alakjuk az önszerveződés eredményeként jött létre, és magas hatásfoka miatt őrződött meg az evolúció során (Garlaschelli és mtsai, 2003b).

A vérkeringés degenerált. A vérerek elágazó rendszere egy artériás fát képez, és egy igen hasonló vénás hálózathoz kapcsolódik. Ezek a fák azonban kevésbé hasonlítanak azokhoz a szabályos fákhhoz, amelyeket napjaink gyerekei "copy-paste" módszerrel rajzolnak a laptopjaikon. Az erek hálózata nem szabályos. Az ereknek mind az átmérőjében, mind pedig a hosszában apró különbségeknek kell lenni ahhoz, hogy a véráramlás heterogenitását megmagyarázhassuk. E különbségeket az érrendszer geometriai elemzése is kimutatta (van Beek és mtsai, 1989). Az egymással „párhuzamos”, kollaterális erek így nem az adott transzport funkció megkettőződésai. Ezek az erek ugyanazt a funkciót kissé másként látják el, azaz degeneráltak. Hadd utaljak az 5.5. fejezetre és hadd tegyem fel a kérdést: milyen kapcsolatok is keletkeznek akkor, ha a rendszer degenerált?

A transzportrendszerekben a skálafüggetlenség ismét térben és időben egyaránt jelentkezik. Zavarmentes esetben a szívdobogás gyakorisága skálafüggetlen eloszlást mutat. Egyszerű skálafüggetlen esetben ez azt jelentené, hogy a szívünk legtöbbször egy adott, meghatározott ritmusnak engedelmessé válik. Néha azonban ettől kicsit eltér. Nagyritkán viszont a szívritmus eltérése igen tetemes is lehet. A szívverés valódi ritmusa ennél azonban komplexebb, úgynevezett multifraktál jellegű, ami azt jelenti, hogy nem egy, hanem több, különböző kitevővel rendelkező skálafüggetlen eloszlás egyszerre kell a leírásához. Ez azonban csak az egészséges emberre igaz. Azokban a betegekben, akik szívelégtelenségben szenvednek, a szívritmus multifraktál jellege elveszik, és határesetben a szívverés egy egyszerű skálafüggetlen (monofraktál) eloszlást követ (Ivanov és mtsai, 1999). A skálafüggetlen mintázat egyszerűsödése a beteg állapotban hasonló változást jelent, mint az autoantitestek skálafüggetlen ingadozásainak az előző fejezetben említett lebontódása az autoimmun betegség során (Varela és mtsai, 1991).

8.3. Izomhálózatok

Mozdulataink stabilitása az egymással ellentétes izomcsoportok koordinált munkájának az eredménye. Az izmok megfeszülése során elemi motorikus egységek százainak szinkronizált aktivációját kell elérni, amihez egyedi idegi impulzusok tízezrei szükségesek. Ez a bonyolult összjáték szinte kiált azért, hogy az izommozgás hálózati elemzés tárgya legyen. Ennek ellenére a hálózati megközelítés e területről nagyrészt hiányzik még. Azon néhány adat egyikeként, amelyek az izommozgások hálózati jellegét mutatják, a hosszas egyhelyben állás közben mutatott ingadozások (amelyet a kísérletezők a kísérleti személy talpai alatt elhelyezett tálcára nehezdedő nyomás

középpontjának áthelyeződésével mérték) skálafüggetlen eloszlást mutattak (Duarte és Zatsiorsky, 2000).

Ha az izommozgás szabályozását a kimeneti oldal felől vizsgáljuk, a mozdulatok és a kifejtett erő egyaránt alkalmasak a rendszer stabilitásának felmérésére. Mozdulataink bonyolultsága és a kifejtett maximális erő, valamint a motorikus egységek aktiválódási sebességének változatossága az izommozgást igen zajos folyamattá teszik. A mozgás zaja a 7.3. fejezetben leírtakkal összhangban, idős korban egyre nagyobb (Enoka és mtsai, 2003). A mozgás végpontjának változatossága a jel és a zaj arányának a függvénye, amelyet a mozgást végző személy az aktivált izmok merevségével tud szabályozni (van Galen és Huygevoort, 2000). Ez a megfigyelés képes magyarázatot adni életünk küzdelmeinek jelentős részére. Amikor egyszerre feszítjük meg az ellentétes izmainkat (egészen addig, ameddig remegni nem kezdenek, ami az egész erőfeszítést hiábavalóvá teszi...) tulajdonképpen az izommerevséget növeljük meg, amely a precizitás előfeltétele. A vágyott precizitás eléréséhez tehát kemény KÜZDELEM szükségeltetik. (Valószínűleg jónéhány professzortársam egyetért velem, hogy a doktorjelöltek közül jóval többnek kellene izomkontrollt tanulmányoznia, hogy rádöbbenjen erre a mélyenszántó igazságra.)



A KÜZDELEM haszna és a gyenge kapcsolatok.

Ha a mozgást végző személy az ellentétes izomcsoportok egyensúlyát egy magasabb szinten állítja be, akkor az izmokat aktiváló jelek megnőnek, ami a zaj hatásait a jelekhez képest kisebbé teszi (van Galen és Huygevoort, 2000). Ugyanakkor a stabilizációra egy más magyarázat is adható. Igen... gyenge kapcsolatok megint. A 8.1. fejezetben leírt elképzeléshez hasonlóan elképzelhető, hogy az izomcsoportok bizonyos elemeinek felerősítésével a többi motorikus egység hozzájárulása a végső mozdulathoz viszonylagosan gyenge lesz, még akkor is, ha ezen egységek erő kifejtése abszolút mértékben azonos marad. A gyenge kapcsolatok pedig stabilizálják a mozdulatot. Izmainknak valószínűleg az ellentétes erők küzdelmes egymásra-feszülésére van ahhoz szüksége, hogy megteremthessék a stabilizáló gyengeséget.

Az izommozgás szabályozásának kimeneti oldala már adott néhány támpontot arra, hogy a gyenge kapcsolatok hogyan vehetnek részt a motorikus egységek hálózatának stabilizálásában és a mozgások precizitásának növelésében. A bemeneti oldalnak, a motorikus egységek koordinált aktivációjának elemzése azonban még ennél is hasznosabb lehet. A motorikus egységeket a mozgatóidegek gyakorta szinkronban történő aktiválódása kapcsolja be. A mozgató idegek szinkronizációjának mind az időtartama, mind a mértéke precízen szabályozott. A szinkronizáció növekedésével a maximális erő kifejtéséhez szükséges idő lerövidül (Semmler, 2002). Ha gyorsan akarunk nagyot ütni, ahhoz elemi motorikus egységeinknek óriási szinkronban kell lenniük egymással. A tökéletes szinkron azonban még nem tökéletes mozdulat! A szinkron növekedésével ugyanis az izom végső erejének a mértéke nem állandó, hanem egyre jobban ingadozik. Kitartóan erős mozdulat esetén az óriási szinkron csődöt mond (Semmler és mtsai, 2003; Yao és mtsai, 2000). Ez a megállapítás összhangban van a kimeneti oldal elemzésével, hiszen ha a motorikus egységek között a szinkron kisebb, megnő annak az esélye, hogy alternatív, egymást kioltó erők lépjenek fel, amely az izmoknak a fentiekben már említett merevségéhez (a KÜZDELEMHEZ) vezet. Az 5. Táblázatban kiváló példák egész sorát hozom arra, hogy megmutassam: a motorikus

egységek szinkronjának csökkenése hogyan okozza a mozgás precizitásának növekedését és fordítva: a szinkron növekedése hogyan növeli a mozgás zaját.

5. Táblázat. **A mozgás maximális precizitásának eléréséhez a motorikus egységek szinkronizációjának közepes mértéke kell**

Kísérleti rendszer	Motorikus egységek szinkronja	Irodalmi hivatkozás
öregedés	a szinkron nő	Semmler és mtsai, 2003
tárgyak tartásának és mozgásának összehasonlítása (makákó majmok esetén)	növekvő szinkron a mozgás során	Baker és mtsai, 2001
muzsikuskok és súlyemelők összehasonlítása	csökkent szinkron muzsikuskokban	Semmler és Nordstrom, 1998
jobb és bal kéz összehasonlítása	csökkent szinkron a jobb kézben (ügyesebb kézben)	Semmler és Nordstrom, 1998
hüvelyk és mutató ujjak, valamint a többi ujj összehasonlítása	csökkent szinkron a gyakorlottabb hüvelyk és mutató ujjak esetén	Bremner és mtsai, 1991
agyvérzéses betegek és egészségesek összehasonlítása	növekvő hosszú távú szinkron agyvérzéses betegekben	Datta és mtsai, 1991
Parkinson kóros betegek és egészségesek összehasonlítása	növekvő hosszú távú szinkron Parkinson kóros betegekben	Datta és mtsai, 1991

A fenti izgalmas és meglepő egyezést mutató adatsorból hadd emeljem ki Semmler és Nordstrom (1998) néhány megfigyelését. Méréseik szerint a mutatóujj motorikus egységeinek szinkronja az alábbi módon növekedett: muzsikusk jobb (domináns) keze = muzsikusk bal keze = átlagos ember jobb keze < átlagos ember bal keze = súlyemelő jobb keze = súlyemelő bal keze. Azaz: a precizitás és a motorikus egységek szinkronja szempontjából, ha valaki zongorázni, vagy fuvolázni tanul, akkor két jobb keze lesz egy helyett. Ha viszont súlyemelésre adja a fejét, akkor két balkeze lesz. Az előzőekben emlegetett KÜZDELEMMEL ellentétben a pusztá ERŐLKÖDÉS nem tűnik hasznosnak a precizitás elérésében. Egy újabb tanulság doktorjelöltek számára...



Amikor az izom-szinkron hasznos: születésünk percei. A motorikus egységek fokozott szinkronizációja és az izomháló ebből következő instabilitása néha hasznos lehet. Nemcsak hasznos! Egyenesen szükséges is. A gyermekszülés a méh összehúzódását igényli. Ahogy a szülés ideje közeledik, az addig nagy össze-visszaságban jelentkező méh összehúzódások egyre jobban és jobban szinkronba kerülnek egymással. Ez az anya és a magzat együttes rendszerének egyre fokozódó érzékenységét váltja ki a környezet hatásaira (Sornette, 2002). Így a méhizomzat motorikus egységei a szülés előtt egy nagy összegző számítógéppé változnak. Amikor az egyre inkább szinkronba kerülő motorikus egységeket a környezet változatos hormonális és más hatásai váratlanul átlöki egy küszöbértéken: a szülés megindul.

Összegzésképpen, ha egy előre megtervezhető, gyakran ismétlődő, gyorsan kivitelezendő és nagy erőt igénylő mozgásformát kell elvégeznünk, mondjuk súlyt kell emelnünk: erős izom-szinkron keletkezik. (Ebből a szempontból a gyermekszülés a súlyemelés egy speciális változatának is tekinthető.) Ez a motorikus egységek közötti erős kölcsönhatásokat igényli. Éppen ellenkezőleg, ha egy előre nem tervezhető, komplex és precíz mozgást igénylő mozgásformát kell elvégeznünk, mint amilyen a hangszeres zene: csupán részleges izom-szinkronra van szükségünk. A motorikus egységes részleges szinkronja az izomhálózat tipikusan gyenge kapcsolataihoz vezet.⁴ Az erős kölcsönhatások a begyakorolt, adaptív mozgások segítői, a gyenge kapcsolatok pedig a változó, ismeretlen, komplex mozgásoké. E kijelentés általánosabb következményeire a 10.5. fejezetben térek majd vissza, ahol újra fogom fogalmazni a tradicionális értelemben vett mérnöki tervezőmunka (jól-definiált, előre tervezhető feladat megoldása) és a barkácsolás (előre nem tervezhető, változó és komplex feladat megoldása) közötti különbségeket.

A motorikus egységek közötti gyenge kapcsolatok megjelenése egybeesik tehát a mozdulataink stabilitásának kialakulásával. Hol lehet az oksági összefüggés? Mi stabilizálja a mozgásunkat? A mozdulatainkat az idegrendszerünk mozgató idegei szabályozzák. Így a szinkronizációbeli különbségek végső okát egy rendszerrel feljebb kell keresnünk. Ez a rendszer, az idegsejtek és a hozzájuk kötődő asztrociták (gliasejtek) hálózata lesz a következő fejezet tárgya.

8.4. Gyenge kapcsolatok az ideghálózatokban

Az emberi agykéreg maximális információ feldolgozó kapacitása minden egyes másodpercben egy terabit körül mozog. Ez összemérhető a világ teljes Internet forgalmának sebességével a 2002-es évben. Az emberi agykéreg 8,3 milliárd idegsejtet és 67 billió kapcsolódási pontot tartalmaz. Az idegsejtek közötti kapcsolatok hossza egy átlagos emberben a Föld átmérőjének 8- és 800-szorosa között mozog. Ezek után gondolom nem meglepő az a kijelentés, hogy az agykéreg neuronjai egy elég komplex ideghálózat részei. Mivel az információ feldolgozás igen költséges,⁵ nem meglepő az sem, hogy az idegsejteknek csak 1-től 16 százaléka működik bármely időpillanatban (Aiello és Wheeler, 1995; Laughlin és Sejnowski, 2003; Sporns, 2003).

Az agyunk, úgy tűnik sikerrel olvasta, és igen ügyesen hasznosította a 3. fejezet tanácsait. Az idegháló a hálózatok minden fontos tulajdonságával rendelkezik. Az idegsejtek hálózata egy kicsiny világ, amelyre a helyi kapcsolatok kiugróan magas gazdagsága mellett kevés számú hosszú távú kapcsolat a jellemző. Ezzel összhangban az idegsejtek közötti kapcsolatok hossza skálafüggetlen eloszlást mutat. Az idegháló modulokból áll, és e modulok gazdagon kapcsolódnak egymáshoz. A modulokat speciális peremterületek kötik össze, amelyek a szomszédos modulok fokozott egybeolvadását, illetve elkülönülését időben változó módon képesek szabályozni.

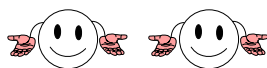
⁴Ezt a tanulságot a technikai megoldások fejlődésével érdemes megfontolni a művészeti alkotások készítése során.

⁵A vázizom mellett az agyunk a szervezet legnagyobb energiapusztítója. Ha a kedves Olvasó ezt nem hiszi, kérem, olvassa e könyvet pár óráig folyamatosan úgy, hogy közben semmit sem eszik. Garantálom: farkaséhes lesz. Mit mondasz, Kekec? Hogy próbáltad? Semmi éhség? Biztos vagy benne öregem, hogy használtad az agyad is közben, vagy az egészen másutt járt?

Végezetül, az idegháló egymásbaágyazott, ami abban nyilvánul meg, hogy az idegsejtek hálózata helyi kapcsolódási köröket (komplex elektromos és kémiai kölcsönhatásokat kódoló többszörös szinaptikus kapcsolatokat) tartalmaz, amelyek viszont az egyedi szinapszisokon belüli molekuláris hálózatokból épülnek fel. Mindezek a tulajdonságok arra szolgálnak, hogy egyszerre biztosítsák az információ feldolgozás maximumát, valamint a kapcsolatok kiépítésével és fenntartásával járó költségek minimumát (Agnati és mtsai, 2004; Buzsáki és mtsai, 2004; Kniffki és mtsai, 1993; Laughlin és Sejnowski, 2003; Sporns, 2003).

Ha a kedves Olvasó nem ismeri a neuroanatómia legújabb eredményeit, illetve az idegsejtek funkcionális kapcsolatait láthatóvá tévő, rendkívül modern képalkotó technikákat (Freund, 2003; Gulyás, 2001) elég nehéz egy közvetlen képet alkotnia arról, hogy az idegsejtek fenti, komplex rendszere hogyan is állhat össze. Ugyanakkor van az ideghálónak egy olyan tulajdonsága, amely az általános jellemzőiből következik, és mindannyiunk számára (sajnos) mindennapos. Tíz éve derült fény arra, hogy a hibáink is skálafüggetlen eloszlást követnek (Gilden és mtsai, 1995). Az eredeti mérések során egy kiválasztott hosszúságot kellett lemásolni. A legtöbb esetben a hiba kicsiny volt. Néha azonban egy nagyobb hiba is becsúszott. Igen ritkán pedig egy kapitális tévedés is megfigyelhető volt.⁶ A skálafüggetlen hibaeloszlás a kognitív feladatoknak egy igen széles körére jellemző (a válasz késlekedésétől a megkülönböztetés pontosságán át a már említett ismétlési precizitásig), és első körben a feladatok elvégzéséhez szükséges belső óra jellemző hibáját takarja (Gilden, 2001). Itt egy újabb régi ismerőssel találkozunk: a szinkronnal. A belső óra fenntartása ugyanis az idegsejtjeink szinkronját igényli (Strogatz, 1998).

Az idegsejtjeink szinkronja nemcsak a belső óráink működésének nélkülözhetetlen eszköze, hanem minden magasabb rendű agytevékenység is az idegsejtek csoportjainak állandóan változó szinkronján alapul. A szinkron jelenségét már Berstein leírta 1945-ös klasszikus cikkében: “szükség van egy nyilvánvaló szinkronra mind a frekvencia, mind a fellépő fázis terén az agykéreg alacsony frekvenciájú oszcillációi során” (Sporns és Edelman, 1998). Később sikerült bizonyítani, hogy az idegsejtek átmeneti szinkronizációja kell ahhoz, hogy bármilyen emlényt rögzíthessünk (Fell és mtsai, 2001). Az idegháló 0,05 Hz és 500 Hz között jónéhány oszcilláló sávot mutat. Az alacsony frekvenciájú oszcillációk óriási ideghálózatokat igényelnek, és igen jó hatékonysággal szabályozzák a magasabb frekvenciájú oszcillációkat, amelyeket idegsejtek kisebb csoportjai állítanak elő (Buzsáki és Draguhn, 2004). Számos betegségben, így az autizmus, a skizofrénia és a figyelemhiányos hiperaktivitás esetén az idegsejtek szinkronizációja megbomlik (Stelt és mtsai, 2004).



Szettek és zsenik: a nagyfokú szinkronizáció kivételes

esetei. Az elektro-encefalogramok (EEG-k) kiterjedt koherenciáját és szinkronizációját figyelték meg számos olyan esetben, amelyet a fokozott érzelmi telítettség, a kivételesen hatékony információ feldolgozás, illetve a kreativitás magas foka jellemez. A kiterjedt idegi

⁶Amikor Gilden és mtsai (1985) cikkét először átolvastam, rendkívül megnyugodtam. Megvan a mentség, ha egy óriási hibát elkövetek a könyvben! Nem volt ez kérem a felkészületlenség jele: tudják, az a fránya hibaeloszlás...

szinkron a kiemelkedő tehetségekre és a meditatív állapotokra egyaránt jellemző volt (Aftanas és Golocheikine, 2001; Jausovec és Jausovec, 2000; Orme-Johnson és Waynes, 1981; Petsche, 1996). (Hadd jegyezzem meg zárójelben, hogy a többszintű szinkron 4.5. fejezetben említett jungi esetei közül a beteljesült ima és a beteljesült álmom nagy valószínűséggel az itt leírtakhoz hasonlóan kiterjedt szinkronizációt hozhat létre.)

Ahogy a 4.5. fejezetben már említettem, a szinkronizációt a kisvilágság és a skálafüggetlenség egyaránt segítik. E hálózati alaptulajdonságok az ideghálók általános sajátosságai. A gyenge kapcsolatok szintén a segítik a szinkronizáció optimális szintjének kialakulását (4.5. fejezet). Mik alkotják az idegsejtek gyenge kapcsolatait? Az idegsejtek kapcsolatainak számos indirekt, szabályozó eleme (Paton és Vizi, 1969; Vizi, 1979; 1984) és a szabadon diffundáló ingerületátvivő anyagok (pl. nitrogén-monoxid, szén-monoxid, stb.) által megvalósuló "térfogati transzmisszó" (Agnati és Fuxe, 2000; Agnati és mtsai, 1986) a gyenge kapcsolatok legvalószínűbb példái. Mindazonáltal ma még nem tudunk eleget e kapcsolódási formák szabályozásáról ahhoz, hogy kapcsolódási erősségüket általánosan is megítélni és tárgyalni lehessen.

Az idegsejtek direkt kapcsolatai és a térfogati transzmisszió mellett az asztrociták (gliasejtek) az idegsejtek gyenge kapcsolatainak egy következő érdekes elemét jelenthetik.⁷ Az asztrociták a szürkeállományt modulokra osztják fel, amelyeket gliovaszkuláris egységeknek nevezünk (Nedergaard és mtsai, 2003). Az asztrociták aránya az idegsejtekhez képest az idegrendszer fejlődésével egyre nő. Az asztrociták egy elektromos egységet képeznek (Nedergaard és mtsai, 2003), amely gyenge kapcsolatot létesít a szomszédos idegsejtek között. Az asztrociták a velük szomszédos idegsejtekkel koordinált kalcium-jelek hordozói, és egyaránt szabályozzák a szinaptikus ingerület átvitelt, a szinapszisok képződését, érését és eltávolítását (Hirase és mtsai, 2004; Newman, 2003c; Slezak és Pfrieger, 2003). E tulajdonságaik mind arra teszik az asztrocitákat alkalmassá, hogy egy stabilizáló gyenge kapcsolatrendszeret alkossanak a tényleges idegsejtek körül.

Valószínűleg a gyenge kapcsolatok egy igen bonyolult rendszerét őrizzük agyunkban. E kapcsolatok segítik az idegsejtjeinket abban, hogy kifejlesszék, átmenetileg megőrizzék, és szükség esetén lebontsák kellő erősségű szinkronjukat. A gyenge kapcsolatok segítik az agyfunkciók magasabb szintre történő integrációját. „Péter, ezek szép szavak. Tudsz arról is mondani valami, hogy mit takarnak?” Igen, a most következőkben éppen ezeket a konkrét jellemzőket fogom sorra venni. Álmaink, tanulási képességünk, sőt még a tudatunk is valószínűleg mind az idegsejtjeink közötti gyenge kapcsolatok miatt alakulhattak ki. Az emberi viselkedés, amely a most következő rész tárgya lesz, úgyszintén a gyenge kapcsolatok mentén szerveződhet. De előbb lássuk álmainkat, emlékeinket és a tudatunkat magát.



A gyenge kapcsolatok segítik álmaink. A leghosszabb és legintenzívebb álmok az álmom gyors szemmozgásos fázisában (rapid eye movement, REM) figyelhetők meg, és (a) az emléknymok erős szelekciójával; (b) az emléknymok bizzar és felismerhetetlen megjelenítésével; és (c) magas érzelmi tartalommal jellemezhetők. Az asszociációkat vizsgáló

⁷Az ötletért köszönettel tartozom Száraz Péternek.

kognitív tesztek eredményei szerint a gyors szemmozgásos szakasz (REM) álmait kifejezetten a gyenge agykéregbeli kapcsolatok vezérlik (Stickgold és mtsai, 2001).



A gyenge kapcsolatok segítenek tanulni. A tanulásnak az a célja, hogy erős kölcsönhatásokat építsen ki az idegháló elemei között. Ugyanakkor a tanulást és a visszaemlékezést gyenge asszociációk egész sora (a kontextus) rendkívüli mértékben segíti. A kontextus segítségének számos érdekes példája akad: búvárok a víz alatt megtanult szavakat a víz alatt sokkal jobban fel tudták idézni, mint a parton. Az alkohol fogyasztása közben megtanult szavak újabb alkoholizálás közben jobban felidézhetőek, semmint józanul. Hasonlóképp: az alkoholisták jobban megtalálják a „dugipénzt” és a „dugi-italt”, ha újra berúgnak (Goodwin és mtsai, 1969; Smith és Vela, 2001). Az álom lassú hullámokkal jellemezhető (non-REM) fázisai az idegsejtek közötti kapcsolatok átalakításával segíthetik az emléknymok végleges rögzülését (Huber és mtsai, 2004). Jelenleg nem ismert, hogy az idegsejtek, illetve moduljaik kapcsolódásának hogyan kell megváltoznia ahhoz, hogy az emléknym rögzítésre kerüljön.



A gyenge kapcsolatok és a tudatunk. A tudatos állapot az idegháló fokozott szinkronizációját és komplexitását hívja elő azzal, hogy addig össze nem kötött hálózati elemeket és modulokat átmenetileg és folyamatosan változó módon összeköt. Az idegsejtek közötti szinkronizáció elvesztése (pl. álomban), illetve túlzott erőssége (pl. epileptikus roham esetén) egyaránt a tudatos állapot megszűnéséhez vezethet. A funkcionális integráció és az elválasztottság egymással párhuzamos jelenléte, a párhuzamos és vissza-visszatérő jelátvitellel és az elemi idegállapotok hihetetlenül magas számával együtt a tudat kialakulásának elengedhetetlenül fontos feltételei (Baars, 2002; Tononi és Edelman, 1998; Tononi és mtsai, 1992; 1998). A különböző agyterületek optimális szinkronizációját és kapcsolódását gyenge kapcsolatok segítik elő.



A külső világ képe agyunkban. Számos olyan mechanizmussal rendelkezünk, amely a külső világ belső képeit készíti el a számunkra. A minket körülvevő emberek mentális állapotát úgy tudjuk elképzelni, hogy egy speciális idegcsoport segítségével, amelyeket tükörneuronoknak hívunk, beleképezzük magunkat a helyükbe (Gallese és Goldman, 1998). Más esetekben a minket érő inger a világ korábban rögzült képeit hívja elő. Ez fordul elő az úgynevezett „prime”-ok esetén, amikor egy képet túl rövid ideig mutatnak ahhoz, hogy tudatosan felismerjük, mégis, a kép hat ránk, és a klasszikus példa bizonyossága szerint a moziból kifele menet mázsaszám tömjük magunkba a pattogatott kukoricát (Kunde és mtsai, 2003). E mechanizmusok mindegyike a szerepet játszó idegsejt csoportok nagy koherenciáját feltételezi. A koherencia távoli agyterületek között alakul ki, ami az eddigiek tanulsága szerint gyenge kapcsolatokat igényel. A gyenge kapcsolatok tehát nemcsak álmainkat és tanulásunkat segítik, hanem kifejlesztik a tudatos énünket, segítik a külső világ megértését, és átvezetnek bennünket a következő fejezetbe, az emberi psziché rejtelseihez is.

8.5. A pszichológia hálózati szemmel

Agyunk hálózati tulajdonságai kézenfekvővé teszik azt, hogy alkalmazzuk a hálózati megközelítést az emberi psziché megértésében. *“Péter, közbe kell szólnom. Hitelt adtam neked akkor, amikor az energiahálóról írtál, mert ellenőriztem az életrajzodat azon a web-oldalon, aminek a címe a bevezetés végén található, és felfedeztem, hogy a diplomádat vegyész szakon szerezted. Feltételeztem azt is, hogy egészen jól kordában tudtad tartani a gondolataidat a*

sejtes hálózatok leírása során, hiszen biokémikusnak tartod magad. E fejezetben sem szóltam eddig egyetlen komolyabb kritikus szót, hiszen egy orvosegyetemen tanítasz, és gondoltam a kollégáktól csak ragadt rád valami az immunológiából, az élettanból, és az idegtudományokból. De ez az a pillanat, ahol tényleg közbe kell szólnom. Ember! Miből gondolod, hogy értesz a pszichológiához is? Esetleg részt vettél egy hétvégi gyorstalpalón? Komolyan biztos vagy benne, hogy folytatni akarod?” Kedves Kececkém! Alaposan megfontolt, és részletekbe menően kimódolt kritikáddal vitatkozni sem módomban, sem szándékomban nem áll. Mindazonáltal hadd említsem meg, hogy épp életem legutóbbi tíz évéről akartam írni pár sort. Ezeket az éveket olyan tehetséges középiskolások között töltöttem (amilyenek te is beállítod néha magad), akik igazi tudománnyal szerettek volna foglalkozni.⁸ Ez alatt a hihetetlenül szép tíz év alatt jónéhány olyan alkalom adódott, amikor egyik vagy másik diákkal egy egészen mély beszélgetés közepén találtam magam, amely számos roppant bonyolultságú személyes problémát járt körül. Tíz év múltán tiszteletbeli pszichológusnak érzem magam. Félre ne érts: ez egy mustármagnyi önbizalmat sem adott nekem (valódi pszichológus barátaim közül jónéhányat megkértem arra, hogy segítsenek a diákoknak, nekem, illetve nézzék át e részt külön), de mély tiszteletet ébresztett bennem az emberi tapasztalás e hihetetlenül komplex és gyönyörű ága iránt. Ideje, hogy folytassam...

A freudi forradalom ledöntötte az emberi tudat „karteziánus színpadának” átlátszóságát, és rádöbentett arra bennünket, hogy a belső világunk még saját magunk számára sem maradéktalanul megismerhető (Pléh, 1988). Tudatunk törött világa a korábinál sokrétűbb megközelítést igényelt. A pszichológiai hálózatok alapjait *Carl Gustav Jung* 1921-ben teremtette meg, amikor megjelentette híres könyvét a pszichológiai típusokról. Stern differenciál pszichológiája (Stern, 1911); a tipológia (Jung, 1969; Kretschmer, 1921) és a faktoranalízis (Cattell 1978; Eysenck, 1970; Spearman, 1931) csak néhány iskola azok közül, amelyek az emberi psziché vonásaiból alkotható hálózatokon alapulnak.

Igen meglepő, hogy a hálózatos gondolkodás csaknem egy évszázados hagyománya ellenére a pszichológia sem a 3. fejezetben említett négy alapvető hálózati tulajdonságot (a kisvilágságot, a skálafüggetlenséget, az egymásbaágyazottságot és a gyengekapcsoltságot), sem pedig a dinamikus hálózati sajátosságokat (a törzshálózat meglétét, a perkolációt, az önszerveződő kritikus állapotot, a fázisátmeneteket és a szinkronizációt) nem tette még szisztematikus elemzés tárgyává. A fejezet hátralévő részében néhány indító gondolatot fogok megfogalmazni arra, hogyan lehetne ezt a két rendkívül izgalmas területet, a hálózatok tudományát és a pszichológiát összekapcsolni.

A hálózatokkal kapcsolatos pszichológiai jelenségek egy konkrét példaként hadd említsem a Tourette-szindrómás betegek tik-jeinek (kontrollálatlan izommozgásainak) skálafüggetlen megoszlását (4.2. fejezet; Peterson és Leckman, 1998). Ahogy korábban már említettem, a két tik közötti időtartam ilyen megoszlása önszerveződő kritikus állapot fellépésére (tikrengésre) utal, ahol a feszültség folyamatosan emelkedik, és a relaxáció gátját mindig egy-egy újabb tik töri át.⁹

⁸Az érdeklődő Olvasó a lehetőségről www.kutdiak.hu honlapon kaphat bővebb felvilágosítást.

⁹Sajnos nagyon képszerű a gondolkodásom, így a gondolati fegyelmem ellenére itt mindig egy győztes csirke jelenik meg a fejemben, ahogy a relaxáció gátján ütött lyuk másik oldaláról vérző fejjel a társaira visszanéz... A képzavarért a hasonlóan csapongó gondolkodású Olvasóktól elnézést kérek.



Kamaszkorunk jellemrengései. Az emberi psziché fejlődése nem egyenletes. A lassan gyarapodó periódusok a fejlődés hirtelen meglóduló szakaszaival párosulnak, hasonlatosan az evolúció szaggatott egyensúly elméletéhez (Gould és Eldredge, 1993). A meglódulások számottevő része a kamaszkorra esik. Itt az önmegvalósítás és a partnerkapcsolatok gyakran késedelmet szenvednek (legalábbis a kamasz szubjektív érzései szerint). A késelemből egyre nagyobb feszültség keletkezik. Kamaszkorban adódnak az első olyan alkalmak is, ahol a tizenéves elhagyja a család és az iskola biztonságos köreit, és hirtelen teljesen különböző környezetben találja magát, ahol a megváltozott helyzetben egyedül kell helytállnia. Időről időre ezek az alkalmak a psziché lavinaszerű fejlődéséhez, jellemrengéshez vezethetnek el.



Az egészséges pszichének szüksége van az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok egyensúlyára. Az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok egyensúlyának megbomlása számos pszichés zavarban tettenérhető:

- A monomániás és a sokoldalúan tehetséges emberek gyakran egyformán instabilak. A monomániások sok esetben csillaghálózathoz hasonló pszichológiai hálózattal rendelkezhetnek. E hálózatban szinte minden kölcsönhatás erős. A spektrum másik oldalán a sokoldalúan tehetséges emberek a csupa gyenge kapcsolatot tartalmazó random hálózathoz állnak közel. A monomániásokat az tudja stabilizálni, ha másodlagos cselekvési, irányultsági formákat képesek beépíteni, a sokoldalúan tehetséges emberek pedig sokszor erős irányításra szorulnak, amely állandó súlyokat alakít ki a számukra egyaránt kedves cselekvési formák között.
- Az autizmus az erős kölcsönhatások többletének egy további példája lehet,¹⁰ ahol új szituációk, kétértelműség, a gyenge kapcsolatok megjelenése pánikreakciót vált ki, ami erős belső instabilitásra utal.
- Az érzelmi traumák a legtöbbször érzelmi zártságot okoznak, amelyben a korábbi kapcsolatrendszerből csak néhány erős kölcsönhatás marad.
- A borderline személyiségzavarban a kapcsolaterősség kezdeti zavara (legtöbbször a szülői kötődés zavarai) serdülőkorban kiterjed, és a személyiség instabilitásához vezet.

Az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok egyensúlya az egyik feltétele annak, hogy a „flow” állapot kivételesen harmonikus és kreatív örömeit élvezhessük (Csíkszentmihályi, 1990).¹¹



KÖTŐDŐK és KAPCSOLATHALMOZÓK: új pszichológiai vonásrendszerek? Bateson és mtsai (2004) nemrégén egy igen érdekes elképzelést közöltek a Nature hasábjain. A hipotézis szerint az állatok jelentős része és az emberek kétféle fenotípusra, „KICSIK-re” és „NAGYOK-ra” oszthatók. A KICSIK mostoha körülmények között fejlődnek ki, és a túlélésre optimalizáltak, míg a NAGYOK megjelenése a bőségre jellemző, és életük a szaporodásra szakosodott.¹² E felosztás következményein tovább gondolkodva fel

¹⁰Az autistáknál az erős kölcsönhatások nem emberekkel, hanem a környezet ismerős elemeivel alakulhatnak ki.

¹¹A bekezdés számos gondolatáért köszönettel tartozom Herskovits Máriának, Ormos Kleopátrának és Szabó Andrásnak.

¹²A KICSIK-nek megfelelő fenotípus a jól ismert „spóra” vagy „dauer” fenotípusnak felel meg a primitívebb élőlények esetén, ahol ezek a fenotípusbeli különbségeket sokkal nagyobb aktivációs energia választja el egymástól, mint az ember esetén. Korábban egy hasonló tipizálást „spórolós” geno-, illetve fenotípusnak” hívták. E megjelölések közül a genotípus azokra a genetikai változásokra utalt, amelyek a nagyvadak levadászása és kipusztítása után, kb. 11.000 évvel ezelőtt bekövetkező, élelemben sokkal

szeretném vetni az ötletet, hogy a KICSIK inkább spórolós, introvertált pszichológiai vonásokkal, a NAGYOK pedig inkább költséges, extravertált pszichológiai vonásokkal jellemezhetők. A NAGYOK a bőségben nőttek fel, nem félnek attól, hogy majd valamikor nem tudják visszaadni azokat a javakat, amelyeket esetleg másoktól kapnak, így a NAGYOK sokszor altruisták, és bíznak a későbbi megtérülésben. A NAGYOK a szerzésre szakosodtak, a bőségesen rendelkezésre álló forrásokból és partnerekből minél többet akarnak uralni. Ezzel szemben a KICSIK a forráshiány gyermekei. Nem bíznak abban, hogy lesz bevételük. Így a KICSIK a spórolásra szakosodtak, és minél többet akarnak megőrizni a rendelkezésre álló szűk forrásokból. A KICSIK minimalizálják a kapcsolataik számát, amelyeket csak nagy energia árán lehet kiépíteni és fenntartani. „Péter, te tréfát űzöl a magasságból.” Kecec!!! A „KICSIK” megjelölés nem a méretre utal. Ez egy komplex fenotípus, ami csak igen laza kapcsolatban áll a tényleges mérettel. Ráadásul mindkét fenotípus egyformán értékes. Mindegyik más előnyökkel rendelkezik. Ha az éppen ránk jellemző KICSI vagy NAGY fenotípus mellett a másikat nem őrizné a DNS-ünk és sejtjeink, az emberiség már régen kihalt volna a Földről. Hadd folytassam. A NAGYOK kiterjednek, felfedeznek és nagyszámú, hosszú távú, gyenge kapcsolatot építenek ki. A KICSIK visszahúzódnak, védőállásokat építenek ki, és szuperstabil, biztonságos, erős kölcsönhatásokat tartanak fenn. Bateson és mtsai (2004) azt is felvetették, hogy a két fenotípus közötti átmenet nem elhatározás kérdése, és általában két-három generációt igényel.¹³ Ha Bateson és mtsai-nak (2004) igaza van – és az érvek igen meggyőzőek –, akkor egy egészen különálló és egymásba csak hosszabb idő után átalakuló KÖTŐDŐ és KAPCSOLATHALMOZÓ pszichológiai vonásrendszernek is ki kellett alakulnia az emberi és állati viselkedésben. Nyilvánvalóan mindkét fenotípus, illetve pszichológiai vonásrendszer csak egy trendet jelöl, ami azt jelenti, hogy a KÖTŐDŐ-knek lesznek felszínes barátai, és fordítva, a KAPCSOLATHALMOZÓ-knak lesz családja és néhány igen jó barátja is. Sokunk éppen a kettő között képezhet átmenetet. A KÖTŐDŐ és KAPCSOLATHALMOZÓ pszichológiai vonásrendszerek szélsőségesen kettéválasztott sajátosságait a 6. Táblázatban tüntettem fel.



A KÖTŐDŐ-k és a KAPCSOLATHALMOZÓ-k egymásrautaltsága: vajon védik-e az KÖTŐDŐ-k KAPCSOLATHALMOZÓ társaikat? A 4.3. fejezetben írtam a sejtek „teljesítménybajnok” és „lusta” enzimjeinek lehetséges egymásrautaltságáról, ahol a gyors, de gyenge szerkezetű enzimektől a Zavar úr képében jelentkező bajt a lassú, de erős enzimek (Shoichet és mtsai, 1995) „elszipkázzák”, és így a „lusta” enzimek lehetővé tehetik, hogy bajnokok ne menjenek tönkre a csúcsteljesítményük közben. A példa esetleg a két szinttel feljebb lévő hálózatra, az emberi társadalmakra is alkalmazható. Ez a következő kérdést veti fel: vajon a KÖTŐDŐ-k védik a KAPCSOLATHALMOZÓ-kat? Azaz: a KAPCSOLATHALMOZÓ-k kiemelkedő teljesítménye nem is lenne lehetséges, ha az KÖTŐDŐ-k nem vállalnák át tőlük és „nyelnék el” a zavart?

szegényebb időszak túlélésére tették alkalmassá paleolitikumbeli elődeinket (Neel, 1962). A fenotípus pedig arra a magzati, illetve születés utáni időszakban elszenvedett élelemhiányra utalt, amely a cukorbetegsége, elhízásra, magas vérnyomásra és a metabolikus szindróma más elemeire teszik hajlamossá az embert (Hales és Barker, 1992).

¹³Ennek egy indirekt bizonyítéka lehet, ha bizonyos költési szokások – pl. önkéntes adományok, vagy az adóelkerülési taktikák csökkenése – megváltozása kb. két generációs késedelmet mutat az után, hogy a népességben a szabadon elkölthető jövedelem számottevő mértékre tett szert.

6. Táblázat. **Különbségek a KÖTŐDŐ és a KAPCSOLATHALMOZÓ pszichológiai vonásrendszerek között**

Vonás	A KÖTŐDŐ pszichológiai vonásrendszer sajátosságai	A KAPCSOLATHALMOZÓ pszichológiai vonásrendszer sajátosságai
Baráti hálózat	A családra és néhány igen jó baráttra koncentrált, a baráti csoport meglehetősen homogén	Igen széles körből vannak barátai, beleértve a nagyon más háttérrel és életstílussal rendelkező barátokat is
Kognitív és érzelmi hierarchia	Néhány fő elképzelésre és érzelmre összpontosul; a szempontok és a kognitív sémák váltása nehezebb; igen hierarchikus; fegyelmezett	Rengeteg versengő ötletet és érzelmet tartalmaz; konfliktusokkal és bizonytalanságokkal teli alacsony hierarchia jellemzi; ¹⁴ fegyelmezetlen, játékos
A külső világ belső képei	Merev, sokszor korábban rögzült sémákkal való azonosítást keres	Flexibilis, az új információkhoz és környezethez nagyban idomul
Kognitív dimenzió	Alacsony: néhány attitűdöt fogad be és elemez	Magas: sok kölcsönható személy egyidejű (bár néha felszínes) elemzésére képes
Felderítés	Rövid távú; ritka ugrások; a Levy utak kitevője magas	Hosszú ugrások gyakrabban vannak, a Levy utak kitevője alacsony, a felderítés könnyen átsapathat a kisebb hatékonyságú véletlen bolyongásba
Relaxáció	Gátolt: a kevés energia megtartására optimalizált	Szabad: a felesleges energia disszipálására optimalizált
Bizonytalanságtűrés	Alacsony	Magas
Kreatív magatartás	Magas a strukturált, hierarchikus sémákat alkalmazó területeken, mint a mérnöki tudományok, a matematika, vagy a vallás	Magas a diffúz struktúrákat alkalmazó területeken, mint az interdiszciplináris kutatás, humán- és társadalomtudományok vagy művészetek
Hatékonyság strukturált feladat végrehajtása esetén	Nagy	Kicsi
Attitűd a források iránt	Költés centrikus; spórolós	Bevétel centrikus; költekező
Gyakrabban fellépő problémák	Egyedüllét, depresszió, túl merev, túl logikus életmenet; instabilitás a gyenge kapcsolatok hiánya miatt	Céltalan élet, kiégés, bizonytalan és változó motiváció, kitartáshiány, kötődésképtelenség, egyedüllét; instabilitás az erős kölcsönhatások hiánya, és a túl sok kapcsolat miatt
Az énhálózat szerkezete	A skálafüggetlen szerkezet a csillagháléhoz közelít	A skálafüggetlen szerkezet a random háléhoz közelít

A Táblázat a KÖTŐDŐ és a KAPCSOLATHALMOZÓ pszichológiai vonásrendszerek extrém megnyilvánulási formáinak tipikus vonásait sorolja fel, hogy rámutasson a két pszichológiai vonásrendszer közötti különbségekre. A valóságban a két szélsőség között rendkívül sok átmenet elképzelhető.

¹⁴Az ötletért köszönettel tartozom Ormos Kleopátrának.

A pszichoterápia egyik alapszabálya, hogy a pszichoanalitikus nem kerülhet a beteggel erős személyes kapcsolatba. *“Péter, én nem vettem részt még semmilyen pszichoterápián, de nem tudom elhinni, hogy igazad van. Hogy lehet egy ilyen terápia sikeres erős kölcsönhatás nélkül?”* Köszönöm Kecec, ez egy fontos kérdés volt. Az erősség és az intenzitás két külön fogalom. A pszichoterápiában a kapcsolat igen intenzív. Ezért hatékony. Ennek ellenére nem erős. Miért? Mert a kapcsolat célra-orientált, és kizárólag a pszichoterápiai kezelésekre korlátozott. Ezért maradhat gyenge kapcsolat a két sokdimenziós személyiség között. A feladatra koncentráció magatartás a siker egyik titka. A mellett az etikai norma mellett, hogy a pszichoterapeuta ne használja ki a beteget az erős kölcsönhatás ürügyén, sok példa mutatja azt, hogy az erős kölcsönhatás önmagában sem használ a pszichológiai segítség hatékonyságának (Degenne és Forse, 1999; Freud, 1915; Kawachi és Berkman, 2001; Veiel, 1993). A segítséghez távolság kell. Vagy más megfogalmazásban: a gyenge kapcsolatok jobban segítik a pszichológiai stabilitásunkat, mint az erős kölcsönhatások.



A gyenge kapcsolatok stabilizálják a párkapcsolatokat. A hosszú távú kapcsolatokat (és a kapcsolatban résztvevők pszichológiai állapotát) a gyengédség a szerelem lángolásánál sokkal inkább stabilizálja. Ennek egyik konkrét modern megnyilvánulási formájaként a törődést sokkal inkább ki tudja fejezni a gyakori SMS üzenet (többszöri gyenge kapcsolat), semmint néhány ritka, de hosszú telefonbeszélgetés (ritkán létrejövő erős kölcsönhatás).¹⁵

A társadalmi hálózatok a legkülönbözőbb hatással vannak az emberi pszichére. Ugyanakkor itt az emberek közötti kapcsolatok sokkal fontosabbak (és sokkal felderítettebbek), mint az egyes emberek belső személyiségstruktúrája, így ezeket a kölcsönhatásokat a 11.3. fejezetben a társadalmi tőke tárgyalása során fogom részletezni.

Ahogy a testünket elhagyjuk (ne aggódj Kecec, sem nem ittam túl sokat, sem nem akarok egy levitációra meghívni: Hálóvilágban tett harmadik utunk végére értünk) hadd foglaljam össze, mit gyűjtöttünk össze utunk során. Egészen sok jel utal arra, hogy a testünkben fellelhető hálózatokat, így az immunológiai hálózatot, a véráramlást, az izomhálót, az idegsejtek hálózatát, valamint az emberi pszichét magát a gyenge kapcsolatok stabilizálják. A jelek valóban nagyon biztatóak, ugyanakkor a konkrét bizonyíték a legtöbb esetben még hiányzik. Ideje munkához látni...

¹⁵Az ötletért köszönettel tartozom a LINK-csoport tagjának, Kovács Istvánnak.