

A munkamegosztás ezer arca és egy modellje

Aki a biológiai szakirodalomban a munkamegosztást keresi, jelenségek felfoghatatlan sokaságára bukkan. Munkamegosztás előfordul ugyanis gének között, sejtek között, szervek között, egyedek között, vagy akár közösségek között is, azaz a biológiai szerveződés összes szintjén. A következőkben egy sor példán keresztül ismertetek egy rendszerezési elvet, aminek segítségével a jelenségek közötti hasonlóságok illetve különbségek könnyebben áttekinthetők, valamint bemutatom a szociális munkamegosztást vizsgáló elméleti modellünket és eredményeinket.

De ne szaladjunk előre: Mi is az a munkamegosztás? Legegyszerűbben talán úgy fogalmazhatjuk meg, hogy az, amikor együttműködő egységek egymást kiegészítő funkciókat látnak el valamilyen közös cél érdekében. Ez a megfogalmazás talán túlzottan általánosnak tűnik, de ahogy utaltam rá, annyira különböző szerveződési szinteken, szituációkban és célok érdekében fordul elő munkamegosztás, hogy az általánosítás szükségszerű. Ahhoz, hogy a vizsgálataink tárgyát képező *szociális* munkamegosztást ennél konkrétabban is definiálni tudjuk, a munkamegosztással kapcsolatos jelenségeket két fontos tulajdonságuk alapján a 1. táblázatban is látható négy csoportra bontottam. Az egyik fontos szempont, hogy az adott munkamegosztás szoros kapcsolatban áll-e a szaporodással, a másik pedig, hogy a részt vevő egységek egy egyedben belül találhatóak, vagy esetleg maguk is egyedek. Szociális munkamegosztásnak a 1. táblázat jobb alsó cellájába sorolt jelenségeket nevezem, azaz a szaporodással *nem kapcsolatos*, egyedek *közötti* munkamegosztást. A következőkben lássunk néhány példát a munkamegosztás egyes típusaira!

	SZAPORODÁSSAL KAPCSOLATOS	SZAPORODÁSSAL NEM KAPCSOLATOS
EGYEDEN BELÜLI	<ul style="list-style-type: none"> – Egysejtű algák kolóniái – Többsejtűség – Telepes medúzák kolóniái 	<ul style="list-style-type: none"> – Specializált rokon gének – Sejtszervecskék – Specializált végtagok
EGYEDEK KÖZÖTTI	<ul style="list-style-type: none"> – Steril kasztok hangyakolóniákban – Szaporodási hierarchia szurikátáknál – Kétszülős utódgondozás – Nemek közötti munkamegosztás 	<ul style="list-style-type: none"> – Csimpánzok kooperatív vadászata – Steril hangyák specializált kasztjai – Szociális pókok munkamegosztása – Iparosodott társadalmak felépítése

1. táblázat. A rengeteg különböző, de közösen munkamegosztásként címkézett természeti jelenség egy lehetséges felosztása néhány szemléltető példával. A munkamegosztás megjelenhet egy egyedben belül vagy egyedek között is, valamint kapcsolódhat szorosan a szaporodáshoz vagy lehet attól független.

1. ábra. Portugál gálya (balra) és szurikáták (jobbra). Mindkét fajnál reproduktív munkamegosztás alakul ki: a portugál gályánál egyeden belül, a szurikátáknál egyedek között. (Köszönet a képekért a Dunn Labnek: <http://dunnlab.org>, és a Burrard-Lucas Photographynak: <http://www.burrard-lucas.com/>)

Szaporodással kapcsolatos munkamegosztás

A szaporodással kapcsolatos, egyeden belüli munkamegosztás elemi példája a többsejtűség kialakulása, azaz az a nagy jelentőségű evolúciós átmenet, amely során a korábban magányos egysejtűek elkezdtek kolóniákat, telepeket, majd fokozatosan egyre bonyolultabb többsejtű szervezeteket alkotni. A többsejtűség kialakulásának fontos lépése, hogy míg bizonyos sejtek megőrzik szaporodóképességüket, mások elvesztik azt. Ennek értelmében tehát minden többsejtű állategyedben reproduktív munkamegosztás működik. Nem mindig egyértelmű azonban, hogy a szerveződés melyik szintjét nevezzük *egyednek*.

A telepes medúzák például rengeteg apró, számos különböző funkcióra specializálódott többsejtű medúzaegyedből állnak, mégis magára a telepre hivatkoznak egy egyedként. A legismertebb ide tartozó faj, a portugál gálya (1. ábra), a nyílt tengervízen zöldes-lilás-kékes színekben pompázó, gázzal telt hólyaggal vitorlázik, és kis halakkal táplálkozik. A portugál gálya testét alkotó apró medúzák aszexuális szaporodással jönnek létre, így a telepet alkotó egyedek genetikailag azonosak. Az egyed fogalmának kérdése felmerül az ún. euszociális rovarársadalmak (termeszek, hangyák, méhek) esetében is. Jól ismeri mindenki, hogy ezekben a rovarársadalmakban általában egy vagy nagyon kevés nőstény szaporodik, ő a királynő. Az összes többi nőstény steril, ők a rovarársadalom komplexitásától függően akár több kasztba is tagozódhatnak és más-más módon vehetnek részt a kolónia életében, de sohasem szaporodnak. Az euszociális társadalmak annyira hasonlítanak egy többsejtű élőlény felépítéséhez, hogy egyesek szerint nem is rovarársadalomként, hanem inkább szuperorganizmusként kéne rájuk tekintenünk, tehát a helyzetük kicsit hasonlít a portugál gályáéhoz.

Találkozhatunk azonban olyan példákkal is, ahol a reproduktív munkamegosztás teljesen egyértelműen különböző egyedek *között* zajlik: sok szociális fajnál tapasztalható, hogy erős hierarchia áll fenn az egyedek között, és csak a hierarchia tetején álló alfa páros szaporodhat, ám bármelyik csoportagnak van esélye, hogy egyszer alfa egyed váljon belőle. Ilyen szaporodási rendszerben élnek például a szurikáták (1. ábra), ahol a csoportban egy szaporodó pár van és a többi egyed, nőstények és hímek egyaránt részt vesznek az alfa pár utódjainak gondozásában, etetésében, védelmében.

Ha kicsit tágabb értelemben tekintünk a szaporodással kapcsolatos munkamegosztásra, a szexuális szaporodást önmagában is ide sorolhatjuk, hiszen a két szülő sohasem fektet ugyanannyi energiát az utódok létrehozásába és gondozásába. Sőt, éppen az eltérő típusú és mértékű befektetés miatt kialakulhat egy másodlagos munkamegosztás a szülők között, ami ily módon szorosan kapcsolódik a szaporodáshoz. Említhetnénk erre példaként emberi társadalmakat is,

ahol míg a férfiak klasszikusan több munkát végeznek „házon kívül”, addig a nők a házimunkából veszik ki a nagyobb részük.

Láttuk tehát, hogy bár néha nehéz megállapítani, hogy mi számít egy egyednek, az egyeden belüli és egyedek közötti szaporodással kapcsolatos munkamegosztás nagyon elterjedt.

Szaporodással nem kapcsolatos munkamegosztás

Vegyük szemügyre most a munkamegosztásnak azon eseteit, ahol a szaporodás nem az elsődleges kiváltó oka ennek az aszimmetrikus együttműködési formának. Az egyeden *belüli* példákért nem kell messzire mennünk, elég saját testünk hierarchikus szerveződésére, és az azonos szinten egymást kiegészítve működő egységekre gondolnunk, azaz szervrendszeinkre, szerveinkre, szöveteinkre, sejtjeinkre. De akár egyetlen sejten belül gondolhatunk a sejtszervecskékre, fehérjékre, génekre is. A gének együttműködésének alapja lehet pl. egy véletlen mutáció, aminek eredményeképp egy gén megkettőződik, majd a két kezdetben azonos gén további mutációk során egymást kiegészítő funkciókra specializálódik. De ebbe a kategóriába tartozik az ízeltlábúak lábainak specializációja is, így pl. a folyami rák ollóinak vagy a zöld lombszöcske hosszú hátsó ugrólábainak kialakulása.

Végül elérkeztünk a számomra legérdekesebb kategóriához, a szaporodással nem kapcsolatos, egyedek *közötti* munkamegosztáshoz, amelynek érdemes a szociális munkamegosztás nevet adni. Az ebbe a kategóriába sorolható jelenségek az embernél nagyságrendekkel gyakrabban előfordulnak mint más fajoknál. Ám találunk azért 1-2 példát rá az állatvilágban. A következőkben ezek közül mutatok be egy érdekeset, a szociális pókok munkamegosztását.

Régóta ismeretes, hogy az alacsonyabb viselkedési komplexitású élőlények között is találunk különböző állati személyiségeket, azaz már a pókok és más ízeltlábúak körében is felfedezhetünk konzisztens és öröklődő viselkedési különbségeket. Ilyen különbségeket találhatunk az állatok aktivitásában, bátorságában, agresszivitásában, stb. Azt is tudjuk, hogy a pókok, ezek a közismerten agresszív ragadozók között is előfordulhat jelentős szociális: bizonyos fajok nagy számban élnek együtt, közös hálóban, akár többeszes kolóniákat alkotva (2. ábra). Nemrégiben Wright és munkatársai egy kísérletben megmutatták, hogy az egyik ilyen szociális fajnál személyiségalapú munkamegosztás alakul ki: az együtt élő nőstény pókok közül a szelídebbek az utódgondozásban vesznek részt, az agresszívebbek, bátrabbak pedig a préda elejtésében illetve a háló rekonstrukciójában, sőt, nemcsak hogy ezeket a részfeladatokat látják el, de ezekben bizonyíthatóan jobban is teljesítenek, mint a másik viselkedési típusba tartozó egyedek. Úgy tűnik továbbá, hogy ez a munkamegosztás egyáltalán nem magától értetődő, hiszen azoknál a pókfajoknál, ahol csak időszakos az együttélés, nem alakul ki hasonló felosztása a feladatoknak.

2. ábra. Szociális pókok (*Stegodyphus spp.*) egyedi jelöléssel ellátva egy kísérlethez (balra) és a préda kooperatív elejtése közben (jobbra). (Köszönet a képekért a Spidarlabnek: <http://www.spiderlab.dk>)

Láttunk egy érdekes példát szociális munkamegosztásra az állatvilágban, de a jelenség legtöbbször az embernél jelenik meg: a mai iparosodott társadalmakban az élet teljesen elképzelhetetlen szociális munkamegosztás nélkül. Evolúciónk során azonban ez nem mindig volt így. Igaz, őseink mindig is szociális csoportokban éltek, de ezekben a csoportokban nem feltétlenül fordultak elő specializált egyedek: mesteremberek, kereskedők, művészek. Legfeljebb egy-egy sámán, varázsló vagy más spirituális vezető. Erre persze bizonyítékaink nincsenek, de ha megfigyeljük a ma is létező, folyamatosan vándorló vadászó-gyűjtögető népek társadalmi berendezkedését, akik feltehetőleg viszonylag hasonlóan élnek 15-50.000 évvel ezelőtti őseinkhez, azt tapasztaljuk, hogy a szociális munkamegosztás nem jellemző rájuk, legfeljebb egy-egy vadászati módszerre vagy prédaállatra specializálódhatnak egyesek, de ez se jelenik meg mindenhol. Igaz, van munkamegosztás a nemek között, illetve a gyerekek és az öregek is külön feladatokat látnak el, de érezzük, hogy ez nem valódi szociális munkamegosztás, hiszen mind a nemek, mind a különböző életkori csoportok szaporodási szempontból nagyon különböznek egymástól. Az egész életen át tartó specializáció és szociális munkamegosztás tehát viszonylag késői evolúciós szerzemény lehet, az első bizonyíték a mesterségek létrejöttére például csak a földművelés megjelenése utánról, úgy 8-10.000 ezer évvel ezelőttről származik. A mai vadászó-gyűjtögetők példája ezt jól illusztrálja: akik a tradicionális életmód mellett maradtak, ott továbbra sincs specializáció, akik viszont szorosabb kapcsolatba kerültek az iparosodott társadalom vívmányaival (oktatással, fegyverekkel, turizmussal, stb.), ott megjelentek nagyobb különbségek az egyes emberek életmódja között.

Ezt a folyamatot, az állandó munkamegosztás megjelenését és hatását az egyedek viselkedésére, munkatársaimmal egy egyszerű modell segítségével vizsgáltuk. Elsősorban arra voltunk kíváncsiak, hogy milyen körülmények kedveznek az állandó szociális munkamegosztás megjelenésének, illetve hogy hatására kialakulnak-e konzisztens és öröklődő viselkedési különbségek.

A munkamegosztás egy modellje

A modell felépítése

Egy ilyen komplex problémát, mint a szociális munkamegosztás egy társadalomban, természetesen csak leegyszerűsítve, a lényegét megragadva lehet modellezni. Senki ne lepődjön meg ezért, ha a modellezett populációnk egyedei semmilyen ismert létformára nem hasonlítanak! A modellbe csak legfontosabb tulajdonságaikat építettük be ugyanis. Képzeljünk hát el egy populációt, ahol véletlenszerűen összeálló csoportoknak újra meg újra együtt kell megoldaniuk valamilyen feladatot (pl. a táplálékszerzést). A megoldandó feladat két részfeladatból áll, amik különböző képességeket igényelnek (pl. a préda felkutatásából és elejtéséből) és az egyedek még a csoportba kerülésük előtt eldöntik, hogy a csoportban melyik részfeladattal foglalkoznak majd. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a feladatot annál sikeresebben hajtja végre egy csoport, minél egyenlőbb tagjai között a részfeladatokat vállalók aránya. Egy csoport tehát akkor szerzi a legtöbb táplálékot, ha pontosan a csoporttagok fele nyomolvasó és másik fele vadász. (Természetesen az optimális arány tetszőlegesen beállítható, ez a modell viselkedésén érdemben nem változtat.) Tegyük fel továbbá, hogy az egyedek mindössze két tulajdonságcsoporthoz tartoznak: hogy melyik feladatot milyen valószínűséggel választják, illetve, hogy melyiket mi-

lyen költséggel hajtják végre. Ezek a tulajdonságok csereviszonyban állnak, tehát ha valaki pl. nagyon szeret vadászni, akkor kevésbé szeret nyomot olvasni, illetve ha könnyedén rátalál a prédára, akkor a vadászat biztosan nagyobb energiabefektetést igényel tőle. Feltesszük, hogy ezek a tulajdonságok öröklődnek, de bizonyos valószínűséggel az egyedek nem pontosan öröklik szülei tulajdonságait (mutáció). Végül, modellünk kulcsfontosságú része az, hogy az egyes csoportok hogyan osztják szét javukat egymás között, azaz példánk esetében a megszerzett táplálékot. Kétféle elosztási rendszert is megvizsgáltunk: I) a javakat (megszerzett táplálékot) a csoporttagok teljesen egyenlően osztják szét, II) a javakat a csoporttagok között úgy osztják szét, hogy akinek többet kellett dolgoznia, az többet kap. Ha például egy csoportban csak egyetlen nyomolvasó van és a többiek mind vadászok, az egy szem nyomolvasó mindenképp többet dolgozik, de csak a II-es verzióban jutalmazták ezért bőségesebben, mint a vadászokat. Természetesen a csoport egy ilyen esetben eleve kevesebb táplálékot tud szerezni, tehát a II-es verzióban ilyenkor a vadászok különösen rosszul járnak.

Előzetesen arra számítottunk, hogy a modellben a kezdetben egységes (mindenhez egyenlően értő) populáció hamar specializált felekre fog bomlani, azaz a munkamegosztás fenti feltételei elegendőek lesznek, hogy hamarosan öröklődő specializált személyiségtípusok alakuljanak ki, akik mindig ugyanazt a részfeladatot választják és azt kis költséggel hajtják végre. Azaz a kezdetben egységes nem specializált egyedekből álló populáció később vadászok és a nyomolvasók populációjává fejlődik.

Az eredmények röviden

A modellt kétféle módszerrel, matematikai analízissel és számítógépes szimulációkkal is megvizsgáltuk. A vizsgálatok során két fő kérdésre kerestük a választ. Egyrészt, hogy milyen paraméterek mellett válik szét a populáció két specializált félre, másrészt, hogy mi a helyzet, ha a szimuláció elején a populációnk kizárólag, vagy jórészt az egyik feladatra specializált egyedekből áll.

Az első kérdésünkre a válasz az, hogy a szétválás sokkal ritkábban következik be, mint gondoltuk volna, gyakorisága függ a tulajdonságok közti csereviszony erősségétől, illetve a feladatok összköltségétől. A szétválás valószínűségét nagyon megnöveli a II-es típusú jutalomelosztási rendszer: ahol nagyobb jutalomban részesül az, aki többet dolgozott, ott sokkal nagyobb valószínűséggel alakul ki a specializáció. Ez egyébként egybevág azzal, amit a mindennapok alapján gondolunk: megéri ritka szakmát választani, ha azt, ritkasága miatt, jobban megfizetik. Ez az eredmény továbbá alátámasztja azt a megfigyelést, hogy az emberi társadalmakban sokkal gyakrabban találkozunk szociális munkamegosztással, mint az állatoknál. A jutalom nem egyenlő illetve nem random elosztása ugyanis bonyolult feladat, kivitelezéséhez nem csak igen fejlett kognitív képességek kellenek, de valamiféle szándék és kontroll is. Érdekes továbbá, hogy a vadászó-gyűjtögetők tipikusan az I-es típusú jutalomelosztási rendszert használják, ami részben magyarázat lehet arra, hogy náluk miért nem jelent meg a specializáció.

A második kérdésünkre is érdekes választ kaptunk: ha a populációnk kizárólag az egyik fajta specialistából áll, szinte sohase fog megjelenni a másik tevékenység specialistája. Ha azonban egy kritikus hányadában a populációnak mégis jelen van a másik specialista, az egész populáció egy

meghatározott pályára áll: először az evolúció úgy alakítja a dolgokat, hogy mindenki generalista legyen, azaz, hogy megszűnjenek a preferenciák, majd amikor ez teljesült, akkor megindulhat a specializáció (3. ábra).

3. ábra. A populáció sorsa attól függően, hogy milyen kezdeti állapotból indítjuk. A sötétkék pontsor azt mutatja, amikor a populáció abba az extrém helyzetbe jut, ahol mindenki ugyanahhoz a részfeladathoz ért. A világoskék pontsor esetében a populáció először úgy változik, hogy csupa generalistából álljon, majd kétféle specialistacsoportra bomlik, akik kis költséggel és nagy valószínűséggel végzik saját feladataikat.

Értelmezzük ezt az eredményt az eredeti példánkon keresztül! Tegyük fel, hogy van egy csoportunk, ahol mindenki mestere a vadászatnak, de senki nem tudja, hogyan kell megtalálni az elejtendő vadakat. Az egyedeink nem lesznek túl sikeresek, hiszen ritkán fogják véletlenül megtalálni a prédát. Tegyük fel most, hogy az egyik vadásznak egy mutáns, nyomolvasásra is képes utódja születik. Egyetlen mutáns egyed, aki ugyan képes nyomolvasásra, de csak viszonylag nagy költséggel, még mindig nagyon kevés lesz, hogy a populációnk nagyságrendekkel sikerebben működjön, ráadásul sokat dolgozik majd komolyabb haszon nélkül, így valószínűtlen, hogy sok utódja lesz. Ha azonban egyszerre annyi mutáns jelenik meg, hogy több vadászó csoportnak is jut egy-egy nyomolvasó, a populációnk összükere egyértelműen növekedni fog. Mivel azonban kevés a nyomolvasó, meg fognak jelenni azok az egyedek, akik a nyomolvasáshoz és a vadászathoz is értenek. Ezek az egyedek a kis csoport nyomolvasó nélkül nem lehetnek volna sikeresek, de így azok lesznek. A populációnk tehát előbb-utóbb tisztán olyan egyedekből fog állni, akik mindenhez értenek (a vadászó-gyűjtögető társadalmak tipikusan ilyenek). Ebben az állapotban, ha a körülmények (pl. a normák, szokások) engedik, ismét megjelenhetnek a specialisták, immár egyenlő arányban, akik kisebb költséggel képesek ugyanarra a feladatra, mint a korábbi generalisták. Ezt a folyamatot mutatja a 3. ábra is, ahol jól megfigyelhető a kétféle végeredmény.

Záró gondolatok

A szociális munkamegosztás különösen érdekes jelenség, többek között azért, mert az embernél sokkal gyakrabban fordul elő, mint más állatoknál. Modellünk segítségével megvilágítottuk ennek lehetséges okait: A szociális munkamegosztás kialakulásához a különböző körülmények nagyon szerencsés együttállása szükséges, ezért nem meglepő, hogy ritkán fordul elő a természetben. A kulturális intézmények azonban megváltoztatják a körülményeket, így azon sem lepődünk meg, hogy a különböző emberi kultúrákban változó mértékben, de megjelenik. Míg az iparosodott társadalmakban mindennapi és elkerülhetetlen a szociális munkamegosztás, addig a tradicionális vadászó-gyűjtögetőknél, a javak egyenlő elosztása és más normák miatt teljesen hiányzik.

Modellünk segítségével megmutattuk továbbá azt is, hogy az állandó szociális munkameg-

osztás öröklődő specializációhoz vezet. Elképzelhető, hogy még az emberi faj mérhetetlen sokfélesége is visszavezethető a csoportjainkban többé-kevésbé állandóan fennálló szociális munkamegosztásra.

Hivatkozások

- [1] BOEHM, C. *Hierarchy in the Forest: The Evolution of Egalitarian Behavior*. Harvard University Press, 2001.
- [2] CLUTTON-BROCK, T. H., RUSSELL, A. F., AND SHARPE, L. L. Behavioural tactics of breeders in cooperative meerkats. *Animal Behaviour* 68 (2004), 1029–1040.
- [3] FINLAYSON, B., AND WARREN, G. M. *Changing natures: hunter-gatherers, first farmers and the modern world*. Duckworth, 2012.
- [4] RUEFFLER, C., HERMISSON, J., AND WAGNER, G. P. Evolution of functional specialization and division of labor. *PNAS* 109, 6 (2012), 326–335.
- [5] VÁSÁRHELYI, Z., MESZÉNA, G., AND SCHEURING, I. Evolution of heritable behavioural differences in a model of social division of labour. *PeerJ* (2015).
- [6] WRIGHT, C. M., HOLBROOK, C. T., AND PRUITT, J. N. Animal personality aligns task specialization and task proficiency in a spider society. *PNAS* 111, 26 (2014), 9533–9537.

Vásárhelyi Zsóka Anna

cím: 1067 Budapest, Hunyadi tér 10.

email: vasarhelyizsoka@ttk.elte.hu

telefon: +36/20/2987995

szül: 1986. szeptember 4.

munkahely: ELTE TTK Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék