Biostatisztika és informatika

6. előadás
Bevezetés a hipotézisvizsgálatokba
2018. október 18.

Agócs Gergely

Sources: – Herényi L (2016): Statisztika és Informatika: 15.0–15.5 fejezetek
– Reiczigel J, Harnos A, Solymosi N (2014): Biostatisztika nem statisztikusoknak: 6. fejezet
– WolframMathWorld: Probability and Statistics (angolul): http://mathworld.wolfram.com/topics/ProbabilityandStatistics.html
– Stanford Online Lagunita: Satistics in Medicine (angolul)

Az előadás célja

- Értsük meg a tudományos döntési folyamatot
  - filozófiai háttér: **a jó kérdés és a jó állítás**
  - **nullhipotézis** (H_0) és **ellenhipotézis** (H_1)
  - **mit is kell bizonyítanunk?**
- A hipotézisvizsgálat lépései **egy példán** keresztül
- Szignifikanciaszint és ***p*-érték**
  - a hipotézisvizsgálat kapcsolata a konfidenciaintervallummal
  - mitől függ a *p*-érték?
- Döntés és a valóság: hibák és hibavalószínűségek
- A *p*-érték csapdái
  - klinikai relevancia és statisztikai szignifikancia
  - többszörös próbák
  - H_0-t nem vetem el ≠ H_0-t igazoltam
  - korreláció ≠ ok-okozat
  - ne hasonlítsd össze *p*-értékeket
  - kellene egyáltalán *p*-értéket használnunk?

Filozófiai háttér

A tudomány fejlődése

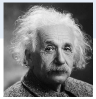
Egy állítás akkor tudományos, ha függetlenül igazolható, reprodukálható.
De ebből nem derül ki, hogy hogyan „keletkezik” a tudomány!

Francis **Bacon**
1561–1626

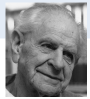
Induktivizmus:
(1) Figyeljük meg a természetet.
(2) Hozzunk létre egy elméletet a megfigyelések általánosításával.
(3) Végezzünk további megfigyeléseket azért, hogy...
(4) ...demonstráljuk az elmélet helyességét – vagy változtassunk rajt.
(5) Ismételjük a (3) és (4) lépést.
Ennek a eljárásnak az alapja tehát az **igazolás** (**verifikáció**).

Ahogy a tudomány ténylegesen „létrejön”:
(1) Van egy problémánk.
(2) Kitalálunk egy megoldást (elméletet) a magyarázatára.
(3) Ezután próbára tesszük az elméletet (megfigyelésekkel vagy ellentmondások felkutatásával)
Ennek az eljárásnak az alapja tehát a **cáfolat (falszifikáció)**.

Filozófiai háttér



Albert **Einstein**
1879–1955



Karl **Popper**
1902–1994

A tudomány fejlődése

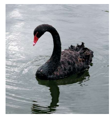
„Végtelensok kísérlet sem bizonyítja, hogy igazam van,
de **egyetlen kísérlet is bizonyítja, hogy tévedtem**.”
Albert Einstein: *Indukció és dedukció* nyomán

„Ha egy **tudományos állítás** a valóságról szól, akkor **cáfolhatónak kell lennie**;
ha nem cáfolható, akkor nem is a valóságról szól.”

„Egy elmélet, melyet semmilyen elképzelhető esemény sem cáfolhat, nem tudományos.
Egy elmélet esetén a cáfolhatatlanság nem erény (ahogy azt elsőre gondolnánk), hanem bűn.
Egy elméletre irányuló bármely érdemi **vizsgálatnak egyetlen célja lehet: hogy megcáfolja**.”

„Akárhány fehér hattyút is láttam eddig,
ez nem igazolja a következtetést, hogy minden hattyú fehér.”

„**Az indukció logikailag érvénytelen**;
de a cáfolat vagy falszifikáció
mindig érvényes érv.”
Karl Popper: *A tudományos kutatás logikája*



Filozófiai háttér

Cáfolható (vagyis tudományos) állítások

„Minden hattyú fehér."
(Karl Popper)
„A Föld áll a világegyetem középpontjában."
(*Eppur si muove!*)
„Semmi sem terjedhet a fénynél gyorsabban."
(Albert Einstein)
„A legjobb tanárok általában azok, akik szabadok, hozzáértőek és eredeti kutatást akarnak végezni a könyvtárban vagy a laboratóriumban."
(Daniel Coit Gilman; a felsőoktatás humboldti modellje)

Nem cáfolható (vagyis nem tudományos) állítások
(esetleg igazolhatók)

„Valahol a Föld és a Mars között kering a Nap körül egy teáskanna."
(Russell teáskannája)
„Él egy szörny a *Loch Ness*-ben."

„Él egy tűzokádó sárkány a garázsomban."
(Carl Sagan)
„Földönkívüliek űrhajója zuhant le egy tanyán az új-mexikói Roswell közelében."

Filozófiai háttér

A bizonyítás terhe (*onus probandi*)

Onus probandi incumbit ei qui dicit, non ei qui negat: Aki egy új ötlettel előáll, annak kötelessége az azt alátámasztó bizonyítékokat is begyűjtenie és bemutatnia, s majd a tudományos közösség eldönti, hogy ezen bizonyítékok elegendőek-e. Ha nem, akkor az állítást elutasítják, és ehhez az ellenzők részéről nincs további érvelésre (pláne ellen-bizonyítékok gyűjtésére) szükség.

Quod gratis asseritur, gratis negatur: Ami bizonyíték nélkül állítható, az bizonyíték nélkül el is vethető.

A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy dobozban van 100 üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy fehér. Ki akarjuk találni, hogy hány piros és hány fehér.

1. eset:
A feltevésünk (*H*): mind fehér.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk egy golyót a dobozból.
Megfigyelés: a golyó piros színű.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, 0: a feltevésünk 100% biztonsággal téves.

Lehetetlen esemény

2. eset:
A feltevésünk (*H*): 99 fehér és egy piros.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
Megfigyelés: mind piros.
Következtetés: a feltevésünk *majdnem* 100% biztonsággal téves: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $0.01^5 = 10^{-10}$: (gyakorlatilag lehetetlen).

3. eset:
A feltevésünk (*H*): 50 fehér és 50 piros.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
Megfigyelés: mind piros.
Következtetés: most nem olyan egyértelmű, mit kellene csinálni: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $0.5^5 = 0.03125$: alacsony de azért nem túl valószínűtlen...

4. eset:
A feltevésünk (*H*): mind piros.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
Megfigyelés: mind piros.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $1^5 = 1$. Biztosak vagyunk, hogy mit kell tennünk?

Biztos esemény

A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy dobozban van 100 üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy fehér. Ki akarjuk találni, hogy hány piros és hány fehér.

1. eset:
A feltevésünk (*H*): mind fehér.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk egy golyót a dobozból.
Megfigyelés: a golyó piros színű.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, 0: a feltevésünk 100% biztonsággal téves.

Lehetetlen esemény
✓
A feltevés hamis

A falszifikáció működik

A verifikáció nem működik

A feltevés igaz
✗

4. eset:
A feltevésünk (*H*): mind piros.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
Megfigyelés: mind piros.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $1^5 = 1$. Biztosak vagyunk, hogy mit kell tennünk?

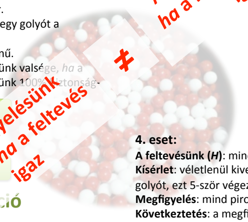
Biztos esemény

A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy dobozban van 100 üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy fehér.
Ki akarjuk találni, hogy hány piros és hány fehér.

1. eset:
A feltevésünk (*H*): mind fehér.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk egy golyót a dobozból.
Megfigyelés: a golyó piros színű.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, 0: a feltevésünk 100%-biztonsággal téves.



Lehetetlen esemény

A feltevés hamis

A falszifikáció működik

A megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevés igaz

≠

A feltevés valsége, *ha* a megfigyelésünk igaz

A verifikáció nem működik

A feltevés igaz

Biztos esemény

4. eset:
A feltevésünk (*H*): mind piros.
Kísérlet: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
Megfigyelés: mind piros.
Következtetés: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $1^5 = 1$. Biztosak vagyunk, hogy mit kell tennünk?

A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Matematikai logika:
Van egy feltevésünk (*H*).
Ha *H* igaz, az *E* esemény nem következhet be.
E bekövetkezik.
Tehát *H* hamis.
Amint azt az előzőekben láttuk, **egy feltevést csak elvetni tudunk**.

Statisztikai logika:
Van egy feltevésünk (*H*).
Ha *H* igaz, az *E* esemény bekövetkezése nagyon valószínűtlen.
E bekövetkezik.
Elvetjük *H*-t. De sohasem lehetünk 100%-ig bizonyosak, hogy *H* hamis.
Ez esetben **egy feltevést még elvetni sem tudunk százszázalékos bizonyossággal**.

Milyen kérdést vizsgálhatunk?

A kérdés...

-e? **...legyen eldöntendő (igen/nem, dichotomikus).** **MHMHMK**

- 50%-e a mielómások ötéves túlélési aránya (vagyis valsége)?
- Eltér-e a Cushing-kórosok vérkoleszterinszintje a normálisnak tartott 200 mg/dL értéktől? ✓

- Mekkora a mielómások ötéves túlélési aránya?
- Mi a Cushing-kórosok koleszterinszintjének várható értéke? ✗

...esetek halmazára és ne egyedi esetre vonatkozzon.
(És a kérdés mindig az alapsokaságra irányul, nem a mintára.)

- 50%-e a mielómások ötéves túlélési aránya? ✓
- Élni fog-e még ez a mielómás beteg 5 év múlva? ✗

...legalább az egyik válaszlehetőségnek egyértelműnek kell lennie.

- 50%-e a mielómások ötéves túlélési aránya? ✓
- Kevesebb-e a mielómások túlélési aránya, mint 50%? ✗

Milyen válaszokat vizsgálhatunk?

Két válaszunk (feltevésünk) van a kérdésre:

A nullhipotézis (H_0)

- **Egyértelmű**: csak egyféleképpen teljesülhet. Valamilyen formában szerepel benne az = jel.
A mielóma ötéves túlélési aránya 50%.
- A tudomány **jelenleg elfogadott álláspontját** tükrözi,
A Cushing kórosok vérkoleszterinszintje megegyezik az egészségesek alapsokaságának átlagával.
vagy valamit, ami „közhelyes”, kevés benne a megkötés (Occam borotvája).
Az érmefeldobásban a fejek valsége 50%.
- **Nem** feltétlenül nemleges válasz a feltett kérdésre.

Az alternatív vagy ellenhipotézis (H_1)

- Jellemzően **többféleképpen is teljesülhet**.
A mielóma ötéves túlélési aránya nem 50%.
(lehet kissé több vagy sokkal kevesebb stb.)
- A tudományos konszenzusnak ellentmondó **új megállapítást** fogalmaz meg,
A Cushing kórosok vérkoleszterinszintje eltér az egészségesek alapsokaságának átlagától.
vagy egy kevéssé közhelyes, megkötéseket tartalmazó állítást.
Az érmefeldobásban a fejek valsége nem 50%.
- Legtöbbször a **H_0-sel komplementer** (vagyis annak tagadása).
H_1 = nem H_0

Kidolgozott példa

A mielómás betegek jelenlegi ötéves túlélési aránya 50% (2008–2012 közötti átlag).

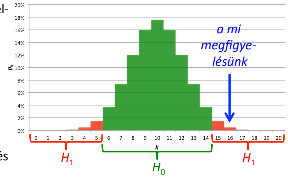
Van egy új gyógyszerjelöltünk, mely patkánykísérletekben hatásosnak tűnik a mielóma ellen. Meg szeretnénk vizsgálni embereken is.

1.a Az orvos kérdése: Leváltsa-e a jelenlegi terépiás protokollt az új szer?
1.b A klinikus kérdése: Releváns-e a hatás? Elég nagy-e a változás a túlélési arányban?
1.c A statisztikus kérdése: Van-e hatás?
2. H_0: A szernek nincs hatása: A túlélési arány a szerrel való kezelés esetén ugyanakkora, mint a hagyományos, bevett terápia alkalmazása esetén.
3. H_1: A szernek van hatása: A túlélési arányok eltérnek.
4. A vizsgálat terve: Válasszunk ki véletlenszerűen 20 mielómás beteget és kezeljük őket a szerrel. Öt év után nézzük meg, hány beteg van még életben. Ezt a számot hívják általában **próbastatisztikának**.

5. Hozzuk létre a H_0 szerinti eloszlást: Esetünkben binomiális eloszlás p = 0,5 és n = 20 paraméterekkel. Ugyanaz, mint az érmefeldobásnál.
6.a Válasszuk ki a szignifikanciaszintet (α), mely egyúttal a konfidenciaszintet (1–α) is megszabja: Legyen α = 5%. (5%-ot az orvostudományban történelmi okokból gyakran használják, de mi választunk.)
6.b Határozzuk meg, hogy mekkora változást fogadunk el klinikailag relevánsnak: Legalább 20%-nyi túlélésiarány-javulást várunk el.

Kidolgozott példa

7. Határozzuk meg a konfidenciaintervallumot a H_0 eloszlás és α alapján: A binomiális eloszlásunkban a 6-tól 14 túlélőig terjedő kimenetelek tartománya összesen kicsit több mint 95% valséget képvisel. Ez azon kimenetelek halmaza, melyeket túl gyenge bizonyítéknak tekintünk H_0 elvetéséhez.
8. Hajtsuk végre a kísérletet:
(Megjegyzés: *ez csak a 8. lépés!*)
A 20 új szerrel kezelt betegünkből 16 még öt év után is él.
...



10. Döntéshozatal: Klinikai szempontból a hatás **releváns** (80% az eddigi 50% túlélés helyett); Statisztikai szempontból pedig **szignifikáns**: az eredmény a H_0 igaz volta esetén valószínűtlen, pontosabban az 5% legvalószínűtlenebb lehetséges kimenetel tartományába („H_1 tartomány”) esik.
11. Válaszoljuk meg a kérdést: Ezzel még várjunk egy percet...

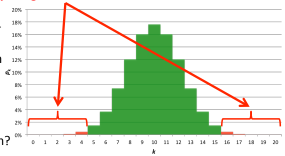
Kidolgozott példa

Mennyire szignifikáns az eredmény?

Nyilvánvaló, hogy 20-ból 16 túlélő szignifikánsabb (azaz valószínűtlenebb H_0 esetén), mint 14 a 20-ból, de kevésbé szignifikáns, mint 18 a 20-ból. Hogyan lehet ezt számszerűen kifejezni?

9. Adjuk meg a minta *p*-értékét: A *p*-érték a következtető statisztika Szent Grálja.
A **megfigyelésünk (vagy egy annál is valószínűtlenebb megfigyelés) valségét adja meg feltéve, hogy H_0 igaz**. Esetünkben ez mindazon kimenetelek valószínűségének összege, melyek az általunk megfigyelttel (16 túlélő a 20-ból) azonos vagy kisebb valségűek.
Értéke p_{sample} = 0,0118. Ezt pirossal mutatjuk a grafikonban.

11. Válaszoljuk meg a kérdést: “A gyógyszerjelölttel kezelt csoportban (n = 20) a túlélési arány 80% volt, amely szignifikánsan több (p = 1,18%) mint a konvencionális kezelés esetén elérhető 50%.



Így most már nagyjából kész lennénk. De még egyszer: bízhatunk a döntésünk helyességében?

Döntési hibalehetőségek

Mint az esetleg feltűnt, a következtető **statisztika döntéshozatal**i mechanizmusa **hasonlít** valamelyest **a bírósági eljárásokhoz**. Lássuk:

- Van egy vád (H_1), mely szemben áll az ártatlansággal (H_0)
- Az ártatlanságot kell vélelmeznünk* (a hatástalanság vélelme)
- A bizonyítás kötelessége (*onus probandi*) a vádlót terheli (aki valamit állít)
- Bizonyítékokat gyűjtünk H_0 ellen (mintavétel).
- A vádlottat vagy felmentjük (H_0-t nem vetjük el) vagy elítéljük (H_0-t elvetjük) az alapján, hogy a bizonyítékok megléte mennyire valószínű, ha H_0 (az ártatlanság) igaz.
- Természetesen a bírói tévedés (döntési hiba) lehetősége fennáll ezen döntések során:

*vélelmez = vél, feltételez ≠ védelmez

		A mi döntésünk	
		H_0-t nem vetjük el	H_0-t elvetjük
A valóság (sohasem ismert)	H_0 igaz	**helyes döntés** 1 – α	**α vagy elsőfajú hiba** p(H_0-t elvetjük $\mid$ H_0 igaz) ≤ α
	H_0 hamis	**β vagy másodfajú hiba** p(H_0-t nem vetjük el $\mid$ H_0 hamis) ≤ β	**helyes döntés** 1 – β

Döntési hibalehetőségek

Ha H_0 igaz...

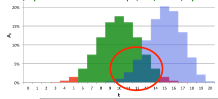
- **Maximalizálhatjuk a hiba valségét:** Mi magunk szabjuk meg a hibahatárt. H_0-t csak akkor vetjük el, ha a minta *p*-értéke (p_{minta}) kisebb mint az általunk kijelölt szignifikanciaszint (α más néven p_{krit}). A szignifikanciaszintet mi választjuk meg, vagyis mi határozzuk meg előre, hogy mekkora valséggel követünk el döntési hibát, ha H_0 igaz.
- Egy alacsonyabb szinten meghúzott α-val lecsökkentjük az elsőfajú hiba valségét, amivel konzervatívabbá tesszük az eljárást. Mivel így a H0 el nem vetési tartomány kiszélesedik, ezért α-t a **próba terjedelmének (*size*)** is nevezik.
- Az általunk kijelölt α szinten kívül semmi egyéb nem befolyásolja az elsőfajú hiba (vagyis a H_0 téves elvetésének) valségét.

		A mi döntésünk	
		H_0-t nem vetjük el	H_0-t elvetjük
A valóság (sohasem ismert)	H_0 igaz	**helyes döntés** $1 - \alpha$	**α vagy elsőfajú hiba** $p(H_0\text{-t elvetjük} \mid H_0 \text{ igaz}) \le \alpha$
	H_0 hamis		

Döntési hibalehetőségek

Ha H_0 hamis...

- **A hiba valószínűsége** attól függ, hogy a tényleges hatás milyen mértékben tér el a H_0-tól.
- Tegyük fel, hogy példánkban a tényleges túlélési arány a gyógyszerjelölttel kezeltek körében 75%: ekkor ki tudjuk számolni (Excelben a =BINOM.ELOSZL() függvénnyel), hogy mekkora valséggel kapunk 6-tól 14-ig terjedő (a H_0 tartományba eső) kimeneteleket: =BINOM.ELOSZL(14;20;75%;1)-BINOM.ELOSZL(5;20;75%;1). Az eredmény 38,28%.



		A mi döntésünk	
		H_0-t nem vetjük el	H_0-t elvetjük
A valóság (sohasem ismert)	H_0 igaz		
	H_0 hamis	**β vagy másodfajú hiba** $p(H_0\text{-t nem vetjük el} \mid H_0 \text{ hamis}) \le \beta$	**helyes döntés** $1 - \beta$

Döntési hibalehetőségek

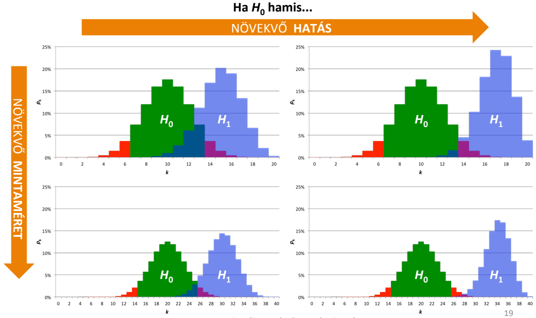
Ha H_0 hamis...

- **Általában a bétahibát nem ismerjük**, de megadhatunk egy "minimális" ellenhipotézist, mely az általunk minimálisan elvárt (klinikailag már releváns) hatásméretet tükrözi
- Minél nagyobb a **tényleges hatás**, annál kisebb az átfedés a H_0 és H_1 eloszlása között, vagyis **kisebb a valsége, hogy nem vetjük el a H_0-t**.
- Ha **növeljük a minta méretét**, a mintastatisztika hibája kisebb lesz, ami szintén **csökkenti a bétahiba valségét**.
- Annak a valsége, hogy a próba ki tud mutatni egy létező hatást, 1 – β, ezt nevezzük a **próba erejének (*power*)**.

		A mi döntésünk	
		H_0-t nem vetjük el	H_0-t elvetjük
A valóság (sohasem ismert)	H_0 igaz		
	H_0 hamis	**β vagy másodfajú hiba** $p(H_0\text{-t nem vetjük el} \mid H_0 \text{ hamis}) \le \beta$	**helyes döntés** $1 - \beta$

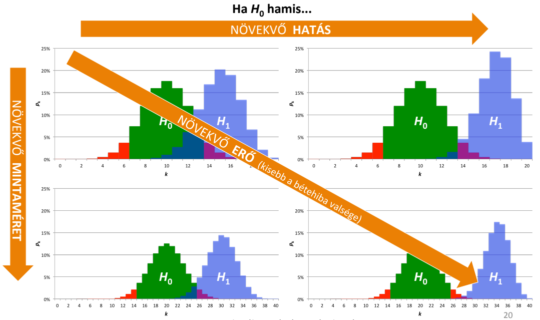
Döntési hibalehetőségek

Ha H_0 hamis...



vö. hatékonyság és torzítatlanság

Döntési hibalehetőségek



vö. hatékonyság és torzítatlanság

A *p*-érték csapdái

- **klinikai relevancia és statisztikai szignifikancia**: ha valami szignifikáns, az még nem feltétlenül releváns is (megfordítva is ez a helyzet).
- **többszörös próbák**: ha ugyanazon a mintán egy sor statisztikai próbát végrehajtunk, az elsőfajú hiba valsége megnő: ha pl. az α értékét 5%-ban határozzuk meg, az azt jelenti, hogy 20 próbából átlagosan egyszer akkor is lesz szignifikáns eredményünk, ha valójában nincs hatás. Ez egy nagy probléma a tudományban, mivel inszignifikáns eredményeket nem nagyon szoktak (nem is nagyon lehet) leközölni, szóval nem igazán lehet tudni, hogy valaki hány próbát végzett el, csak azt, hogy mennyi volt szignifikáns.
- **H_0-t nem vetjük el ≠ H_0-t igazoltuk**: idézzük fel a piros és fehér golyók példáját; feltevést nem lehet igazolni csak cáfolni.
- **korreláció ≠ ok-okozat**: ha két változó valamilyen módon együtt változik, még nem feltétlenül jenelti, hogy oksági kapcsolat is van köztük. Lásd pl.: https://www.fastcompany.com/3030529/hilarious-graphs-prove-that-correlation-isnt-causation
- **Szabad egyáltalán *p*-értéket használni?** Folyamatos vita zajlik arról, hogy a *p*-értékek feltüntetését úgy ahogy van meg kellene tiltani a tudományos közleményekben. Főbb okok: gyakori (olykor szándékosan) hibás használat, félreértés és félremagyarázás. Csak hogy más mérőszámokat sem könnyebb megérteni. Maga a tudományos érvelés az összetett, nem csupán az ahhoz társuló matematika.

Összegzés

- Csak a cáfolható állítás tekinthető tudományosnak.
- A bizonyítás kötelessége azt terheli, aki állít valamit.
- A H_0 a tudomány jelenlegi állását kell tükrözze.
- Az H_1 a mi állításunk, mely valamiben az eddigi konszenzusnak ellentmond.
- A *p*-érték a megfigyelésünk (vagy egy még szélsőségesebb megfigyelés) valségét adja meg, ha H_0 igaz.
- Egy alacsony *p*-érték bizonyték a H_0-val szemben, de egy magas *p*-érték nem bizonyíték a H_0 mellett.
- Ha a *p*-érték magas, akkor a H_0-t nem „elfogadjuk”, hanem nem vetjük el. Ez nem csak játék a szavakkal: azt hangsúlyozzuk, hogy H_0 érvényessége a megelőző ismereteken (tudomány állása, lásd H_0 létrehozásának szempontjait) és nem az aktuális mintából számolt *p*-értéken alapul.
- A döntéshozatal hibalehetőséget rejt magában. De ez a hiba mérhető és valamelyest kontrollálható.

Ellenőrző kérdések

– Egy alacsony *p*-érték miért bizonyíték H_0 ellen, ha egyszer a magas *p*-érték nem bizonyíték H_0 mellett?
– Mik az indukció lépései? Mondj példát is.
– Miért nem érvényes logikailag az indukció? Magyarázd meg és adj példákat.
– Magyarázd meg, hogy a tudományos állításnak miért kell cáfolhatónak lennie.
– Egy tudományos elmélet cáfolhatatlan. Nagyszerű teljesítménynek vagy értéktelennek tekintsük? Miért?
– Úgy sejtem, hogy egy új gyógyszert sikerült felfedeznem. El kezdem reklámozni, de hamar jön néhány szkeptikus, akik kételkednek a hatásban. Én azt akarom, hogy bizonyítsák be, hogy tévedek, míg ők azt követelik, hogy én bizonyítsam be, hogy igazam van. Melyikünknek kell bizonyítania?
– Adj példát cáfolható állításra.
– Adj példát cáfolhatatlan állításra.
– Mit kell bizonyítani? Hogy a homeopátia működik vagy hogy hatástalan?
– Az iridológia követői azt állítják, hogy a szem íriszéből diagnosztizálni tudják a testi (nem szemészeti) betegségeket. Mi legyen a nullhipotézis: hogy ez az állítás igaz vagy hogy hamis?
– Mi az indirekt bizonyítás? Adj példákat.
– Mi a hasonlóság és a különbség a matematikai és a statisztikai logika között?
– Mik a jó statisztikai kérdés tulajdonságai? Adj példákat is.
– Mik a nullhipotézis tulajdonságai?
– Mik az ellenhipotézis jellemzői?
– Adj példát statisztikai kérdésre és a hozzá tartozó null- és ellenhipotézisre.

Ellenőrző kérdések

– Add meg a nullhipotézisvizsgálat lépéseit.
– Miért tudjuk vizsgálni a nullhipotézist, de nem tudjuk vizsgálni az ellenhipotézist?
– Mi a kapcsolat a hipotézisvizsgálat és a konfidenciaintervallum-számítás között?
– Definiáld a *p*-értéket.
– Mitől függ a *p*-érték?
– Mit jelent a próbastatisztika?
– A mintából számolt *p*-érték kisebb, mint a szignifikanciaszint. Milyen döntést hozunk?
– Mi az elsőfajú és a másodfajú hiba?
– Mitől függ az elsőfajú és a másodfajú hiba valószínűsége?
– Sorold fel a *p*-érték néhány csapdáját.
– Miért van az egész hipotézisvizsgálatra szükség ahelyett, hogy egyszerűen bemutatnánk a mért adatainkat?
– Mit értünk Occam borotvája alatt?
– Miért éppen 5% az orvostudományban használt szokásos szignifikanciaszint? Történik valami különleges 5%-nál?
– Mit jelent egy statisztikai próba terjedelme?
– Mit jelent egy statisztikai próba ereje?