# Orvosi statisztika, informatika és telemedicina

5. előadás

Bevezetés a hipotézisvizsgálatokba

2021. október 6.

Agócs Gergely

Források: – 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 hasonlíts össze *p*-értékeket
  - kellene egyáltalán *p*-értéket használnunk?

1

# 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

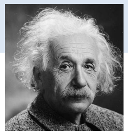
**Induktivizmus:**
(1) Figyeljük meg a természetet.
(2) Hozzunk létre egy elméletet a megfigyelések általánosításával.
(3) Végezzünk további megfigyeléseket azért, hogy...
(4) ...demonstráljuk az elmélet helyességét – vagy változtassunk rajt.
(5) Ismételjük a (3) és (4) lépést.
Ennek a eljárásnak az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

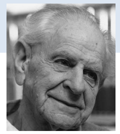
2

# Filozófiai háttér

## A tudomány fejlődése



Albert **Einstein**
1879–1955



Karl **Popper**
1902–1994

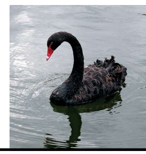
„Végtelensok kísérlet sem bizonyítja, hogy igazam van,
de **egyetlen kísérlet is bizonyítja, hogy tévedtem**.”
Albert Einstein: *Indukció és dedukció* nyomán

„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*



3

# 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."

4

# 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.


5

# A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

## Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy zsákban van egy halom üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy kék.
Ki akarjuk találni, hogy hány mennyi a pirosak aránya.

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

Lehetetlen esemény

**2. eset:**
**A feltevésünk (*H*)**: 99% piros és 1% kék.
**Kísérlet**: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
**Megfigyelés**: mind kék.
**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% piros és 50% kék.
**Kísérlet**: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
**Megfigyelés**: mind kék.
**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 kék.
**Kísérlet**: véletlenül kiveszünk és visszarakunk egy golyót, ezt 5-ször végezzük el.
**Megfigyelés**: mind kék.
**Következtetés**: a megfigyelésünk valsége, *ha* a feltevésünk igaz, $1^5 = 1$. Biztosak vagyunk, hogy mit kell tennünk?

Biztos esemény

6

# A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

## Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy zsákban van egy halom üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy kék.
Ki akarjuk találni, hogy hány mennyi a pirosak aránya.

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

Biztos esemény

7

# A hipotézisvizsgálat gondolatmenete

## Indirekt bizonyítás (*reductio ad absurdum*)

Egy zsákban van egy halom üveggolyónk. Mindegyikük vagy piros, vagy kék.
Ki akarjuk találni, hogy hány mennyi a pirosak aránya.

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

8

# 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**.

9

# Milyen kérdést vizsgálhatunk hipotézisvizsgálattal?

## 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%? ✗

10

# 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 $H_0$

11

# 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**.

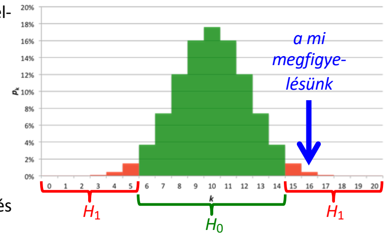
5. **Hozzuk létre a $H_0$ szerinti eloszlást:** Esetünkben binomiális eloszlás $p = 0{,}5$ és $n = 20$ paraméterekkel. Ugyanaz, mint az érmefeldobásnál.
6.a **Válasszuk ki a szignifikanciaszintet ($\alpha$), mely egyúttal a konfidenciaszintet ($1-\alpha$) is megszabja:** Legyen $\alpha = 5\%$. (5%-ot 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.

12

# Kidolgozott példa

7. **Határozzuk meg a konfidenciaintervallumot a $H_0$ eloszlás és $\alpha$ 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...

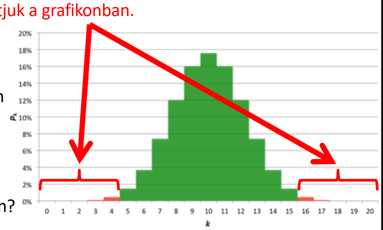
13

# 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?

14

# 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** $1-\alpha$ | **$\alpha$** vagy **elsőfajú hiba** $p(H_0\text{-t elvetjük} \mid H_0 \text{ igaz}) \leq \alpha$ |
| | $H_0$ hamis | **$\beta$** vagy **másodfajú hiba** $p(H_0\text{-t nem vetjük el} \mid H_0 \text{ hamis}) \leq \beta$ | **helyes döntés** $1-\beta$ |

15

# 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 ($\alpha$ 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 $\alpha$-val lecsökkentjük az elsőfajú hiba valségét, amivel konzervatívabbá tesszük az eljárást. Mivel így a H0 el nem vetési tartomány kiszélesedik, ezért $\alpha$-t a **próba terjedelmének (*size*)** is nevezik.
- Az általunk kijelölt $\alpha$ szinten kívül semmi egyéb nem befolyásolja az elsőfajú hiba (vagyis a $H_0$ téves elvetésének) valségét.

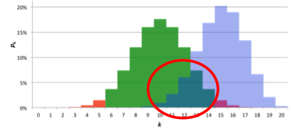
| | | A mi döntésünk | |
|---|---|---|---|
| | | $H_0$-t nem vetjük el | $H_0$-t elvetjük |
| A valóság (sohasem ismert) | $H_0$ igaz | **helyes döntés** $1 - \alpha$ | $\alpha$ vagy **elsőfajú hiba** p($H_0$-t elvetjük \| $H_0$ igaz) ≤ $\alpha$ |
| | $H_0$ hamis | | |

16

# Döntési hibalehetőségek

**Ha $H_0$ hamis...**

- **A hiba valószínűsége** attól függ, hogy a tényleges hatás milyen mértékben tér el a $H_0$-től.
- 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 | $\beta$ vagy **másodfajú hiba** p($H_0$-t nem vetjük el \| $H_0$ hamis) ≤ $\beta$ | **helyes döntés** $1 - \beta$ |

17

# Döntési hibalehetőségek

**Ha $H_0$ hamis...**

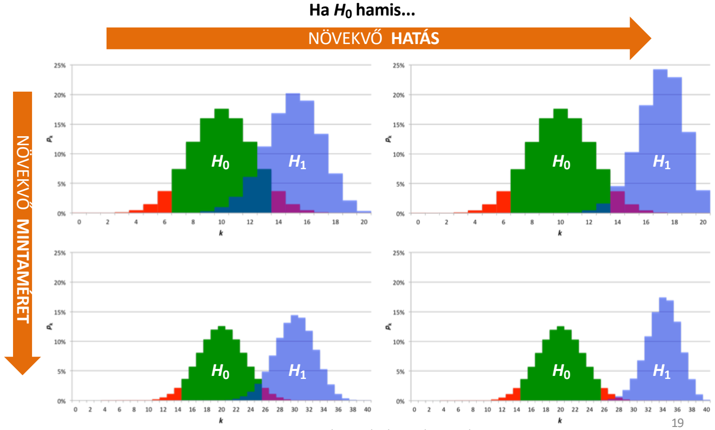
- **Általában a bétahibát nem ismerjük**, de megadhatunk egy "minimális" ellenhipotézist, mely az általunk minimálisan elvárt (klinikailag már releváns) hatásméretet tükrözi
- Minél nagyobb a **tényleges hatás**, annál kisebb az átfedés a $H_0$ és $H_1$ eloszlása között, vagyis **kisebb a valsége, hogy 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, $1 - \beta$, 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 | $\beta$ vagy **másodfajú hiba** p($H_0$-t nem vetjük el \| $H_0$ hamis) ≤ $\beta$ | **helyes döntés** $1 - \beta$ |

18

# Döntési hibalehetőségek

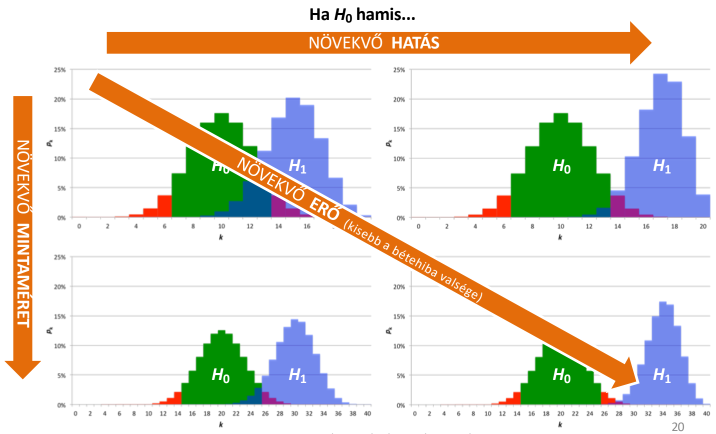
**Ha $H_0$ hamis...**




vö. hatékonyság és torzítatlanság

19

# Döntési hibalehetőségek




vö. hatékonyság és torzítatlanság

20

# 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.

21

# 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.

22