

Oksági következtetések

A statisztikaelmélettől a társadalomtudományi alkalmazásokig és vissza

Causal inference.

From statistical theory to social science applications and back

Rakovics Zsófia¹

<https://doi.org/10.51624/SzocSzemle.2022.3.5>

Beérkezés: 2022. 02. 01.

Átdolgozott változat beérkezése: 2022. 07. 05.

Elfogadás: 2022. 09. 03.

Módszeresen – beszámoló

Bevezetés

A 2016-ban indult *Módszeresen* vitasorozat² egyik fő célkitűzése – ahogy Németh Renáta az esemény felvezetőjében összegezte –, hogy teret adjon a dinamikus változó társadalomkutatói módszertan konstruktív kritikai megvitatásának.

A társadalomtudósok természetesen nemcsak leírni igyekeznek a vizsgált társadalmakat, hanem azok működési folyamatainak megértésére törekuszenek, az oksági állításokat szeretnék megfogalmazni, annak ellenére, hogy az elérhető adatok erre sokszor nem alkalmasak (lásd Németh 2014). A vitasorozat tizedik alkalma ezért az okság kérdését járta körbe, az ELTE Társadalomtudományi Kar és a Társadalomtudományi Kutatóközpont szervezésében, *Oksági következtetések: A statisztikaelmélettől a társadalomtudományi alkalmazásokig és vissza* címmel. A jubileumi rendezvény három felkért előadója és előadásai témái a következők:

Janky Béla (közgazdász-szociológus, a BME Szociológia és Kommunikáció Tanszékének egyetemi docense, a TK Szociológia Intézetének kutatója, tudományos főmunkatársa) előadása a társadalomtudományokban, kiemelten a közgazdaság-

1 ELTE Társadalomtudományi Kar Szociológia Doktori Iskola, ELTE Társadalomtudományi Kar Társadalomkutatások Módszertana Tanszék, Research Center for Computational Social Science (RC2S2), e-mail: zsofia.rakovics@tat.k.elte.hu

2 A vitasorozat előadásai elérhetőek a TK Módszertani Képzési Központjának aloldalán, illetve a TK Kutatási Dokumentációs Központjának archívumában.

tanban alkalmazott oksági következtetésekre vonatkozó elméletek ismertetését célozta. Bemutatta azokat az alapfogalmakat, amelyekkel a Judea Pearl-féle oksági statisztikai irányzat dolgozik, vázolta az oksági következtetések különböző elméletei körüli élénk tudományos vita néhány fontos pontját, és tudományszociológiai megfontolásokat is érintett.

Ferenci Tamás (biostatistikus és orvosbiológiai mérnök, az Óbudai Egyetem docense) hozzászólásában az oksági következtetések epidemiológiai alkalmazásairól beszélt, tudománytörténeti aspektusokra is kitérve.

Rudas Tamás (matematikus, statisztikus, szociológus, az ELTE TáTK Statisztika Tanszékének professzora) előadásának címe *A túl egyszerű okságtól a túl bonyolult okságig* volt, amelyben összefoglalta a statisztika oksági elméleteinek lényeges állításait, majd kritikusan elemezte azokat.

A beszámoló a továbbiakban nem követi az esemény időrendjét, hanem a rendezvény címében megjelölt irányban – a statisztikaelmélettől a tudományos alkalmazásokig – halad.

A kauzalitás természete és Pearl okságelméletének kritikája

Rudas Tamás két példával kezdte előadását, hogy érzékeltesse a triviálisnak ható oksági állítások problematikáját. Gyakran találkozunk társadalomtudományi szempontból releváns oksági állításokkal, mint például: „A tanárok boldogabbak, mint az a fizetésükből következne, mert lelkesíti őket a tanári hivatás.” Egy-két részletező kérdés feltevésével azonban (például: Honnan tudhatjuk, hogy a fizetés hat-e a boldogságra, vagy valamilyen más tényező?) könnyen belátható, hogy egy ilyen állítás tudományos szempontból nehezen értelmezhető. Ugyanilyen problémás „A dohányzás káros az egészségre” állítás, hiába tűnik nyilvánvalónak az oksági összefüggés.

Ronald A. Fisher brit matematikus, statisztikus 1950-es évektől kezdődően vizsgálta a dohányzás egészségkárosító hatását (lásd Fisher 1957, 1958a, 1958b, 1959). Fisher – aki maga is pipázott – amellet érvelt, hogy a dohányzás nem feltétlenül okoz tüdőrákot. Bemutatta, hogy a megfigyelt korreláció nem feltétlenül jelent kauzális kapcsolatot, hiszen nem lehet kizárni olyan zavaró – ún. *confounder* – tényező jelenlétét, amely a dohányzással és az egészségi állapottal is összefügg. Például létezhet valamilyen genetikai jellemző (lásd Fisher 1958b, 1958c), amely mindkettőre hat. Fisher érvelése, kételkedésre sarkalló gondolatmenete meghatározóvá vált az oksággal foglalkozó statisztikaelmélet számára. Rudas két tudományos állítást idézett, amelyek a dohányzás miatt bekövetkezett halálozási arányra vonatkoztak: az első egyharmados, a második kétharmados halálozási arányt állapított meg. Ezek, bár első ránézésre egyértelmű és megingathatatlan tudományos állításoknak tűnhetnek, mégis ellentmondanak egymásnak. Rudas – hivatkozva a fisheri érvelésre – rávilágított arra, hogy fontos szkepszissel és kritikával megközelíteni az ilyen „tudományos igazságokat”.

Az oksági állítások felülvizsgálatának alapelveit is ismertette: akkor állapítható meg egy kezelés oksági hatása, 1) ha eldönthető, hogy adunk-e kezelést vagy sem az adott alanynak, azaz az okság manipulálható, illetve 2) ha minden potenciális befolyásoló tényező szempontjából azonos a kezelt és a kontrollcsoport. Ezek persze bizonyos tudományterületek, illetve kutatási kérdések esetén könnyebben értelmezhetők és kivitelezhetők, mint máshol. A társadalomtudományok esetében általában nem teljesülnek a fenti kritériumok: 1) a társadalomtudományos kutatások során jellemzően megfigyeléses vizsgálatok állnak rendelkezésre, amelyek során nem manipulálhatók a releváns tényezők. 2) Jelen lehet a *non-compliance*, azaz a kutatásban részt vevők nem fogadják el a „kezelést”, nem engedelmeskednek a kutatók kéréseinek, utasításainak, ráadásul 3) a megfigyelt egyének lemorzsolódhatnak, kieshetnek a kutatásból (*dropout* jelenség). 4) Nehéz megállapítani vagy biztosítani a külső érvényességet, illetve 5) nem azonos összetételű a kezelt és a kontrollcsoport. Rudas kitért a tényellentétes (*counter-factual*) állítás fogalmára; megjegyezte, hogy ideális esetben a hatás mérésének pillanatában ugyanazon egyént kellene megfigyelni a kezelés mellett és anélkül is, ami persze nem lehetséges. A randomizált kísérletek esetében is csak várhatóan azonos a kezelt és a kontrollcsoport.

Statisztikaelméleti szempontból kiemelte Jerzy Neyman és Donald B. Rubin munkásságát (lásd például Neyman 1923, 1937, Rubin 1974, 1978, 2005) és a nyomukban alakult statisztikai iskolát, amely az oksági következtetések esetén a hatás nagyságát igyekszik megállapítani, illetve a Judea Pearl-féle iskolát, amely a hatás létét, tényét igyekszik megragadni. Rudas Tamás azt állította, hogy a megfigyeléses vizsgálatokon nyugvó kutatások, illetve a nem megfelelően randomizált kísérletek esetében „sem az oksági hatás tényét, sem pedig nagyságát nem lehet megállapítani”.

Judea Pearl – izraeli–amerikai származású mérnökinformatikus – kauzalitásra vonatkozó elméletének (Pearl 1995, 2009) főbb állításait Rudas a következőképpen összegezte: amennyiben ismertek az oksági hatások, azok irányított gráfokkal írhatók le, a csúcsok változókat, az irányított élek (nyilak) közvetlen oksági hatásokat fejeznek ki. Itt megemlítette Németh Renátával közös munkáit (lásd például Németh–Rudas 2013a, 2013b), amelyek az irányított aciklikus gráfok (*directed acyclic graph*, röviden: DAG) használatára vonatkoznak. „Egy ilyen struktúrából kiolvashatóak feltételes függetlenségek, amelyek megfigyeléses (nem kísérleti) adatokban is megnyilvánulnak.” Rudas szerint „ez az igazi varázslat Pearl javaslatában”, mert „ezek tesztelésével megfigyeléses adatokból is következtethetünk az oksági kapcsolatokra.”

Rudas hangsúlyozta az oksági összefüggések felfedezése és feltalálása közötti különbséget. Előadásában a Pearl-féle – Pearl által felfedezésként eladni kívánt – elmélet eredményeit feltalálásként aposztrofálta. Szerinte, ha kellően bonyolult, vagyis – az előadás címében említett – „túl bonyolult” tudományos állításokat fogalmazunk meg, ahogyan Pearl teszi, akkor „inkább csodálókkal, mint kritikusokkal fogunk találkozni”. Másképpen fogalmazva: a kellőképpen bonyolult állítások tartalmatlansága, újdonságot nem rejtő volta kisebb valószínűséggel lepleződik le a tudományos közösség előtt.

Rudas ezt követően Pearl egyik példáját mutatta be, amely egy autó beindításához kapcsolódik. Pearl szerint a példa tanulsága, hogy „[h]a egy jelenségnek két független oka lehet, akkor ismerve a jelenséget, a két ok összefüggővé válik”. Legyen az akkumulátor és az autó tankjának feltöltöttsége a két faktor, amelyeket függetlennek feltételezhetünk, azonban amint az autó elindul, már tudni lehet, hogy nincs lemerülve az akkumulátor, és a tank sem üres, azaz a két tényező összefüggővé válik. Ezt a jelenséget Berkson-paradoxonnak nevezik, és már Judea Pearl előtt leírták, legelőször orvostudományi kutatások nyomán (Berkson 1946), ahogy később Ferenci Tamás is megerősítette hozzászólásában.

Rudas szerint a szabály – melynek értelmében a közös okozatot feltételbe téve az eredetileg független okok összefüggővé válnak –, amelyet Pearl univerzálisnak tart, nem az. Előadásában bemutatott egy olyan példát, amely megfelel pearli kritériumoknak, mégsem következik be a Berkson-paradoxon. A példa tárgya egy azonos valószínűséggel három fokozatban (0, 1, 2) világító lámpa. Tegyük fel, hogy két személy „A és B külön-külön tudja a fényerősséget befolyásolni, mindketten felfelé vagy lefelé 1-1 fokozattal (2-ből felfelé 0, 0-ból lefelé 2 lesz)”. A lámpa aktuális fényerősségétől függetlenül egyforma valószínűséggel váltanak fel vagy le, azonban „megfigyelve a lámpa állapotát ezután, és ezt a feltételbe téve, A és B kapcsolásainak eloszlása független marad”. Látjuk, hogy bár az ok valószínűsége, A és B személyek determinisztikusan meghatározzák a lámpa fényességét.

Az ellenpélda úgy kritizálható, hogy egyikük sem tudja, mi lesz az együttes hatás, tehát ez nem „olyan” okság. Rudas lényegi kritikája az, hogy Pearl és követői nem teszik világossá, mit értenek okság alatt. Úgy tesznek oksági állításokat, hogy nem definiálják a központi fogalmat. Rudas javaslata szerint csak azután érdemes gondolkodni a helyes elemzési eljárásról, miután definiáltuk a kutatásunk során az okság fogalmát.

Oksági statisztika a közgazdaságtanban

Janky Béla előadását a közgazdasági Nobel-díj 2021. évi nyerteseivel kezdte, mert Joshua D. Angrist és Guido W. Imbens az elismerést az oksági kapcsolatok elemzésében végzett módszertani hozzájárulásukért kapták (lásd például Angrist et al. 1996, Imbens–Rubin 2015), ami érzékelteti az okság problémájának fontosságát a közgazdaságtudományban is. Hozzátette, hogy Guido W. Imbens az oksági következtetések mellett gépi tanulási eljárásokkal (Athey–Imbens 2019), illetve azok lehetséges alkalmazásának vizsgálatával (Imbens 2020) is foglalkozik, mert Imbens és más közgazdászok szerint oksági elemzésben is hatékonyan becsülhetők hatásnagyságok gépi tanulás segítségével (Athey et al. 2017), így ezek alkalmazása és fejlesztése is fontos kutatási területté vált a közgazdaságtudományban. Janky szerint nem csak a közgazdászok körében, illetve a tágabb társadalomtudományos közösségben váltak elterjedtebbé a gépi tanulási eljárások, hanem az ipari és üzleti szférában is gyorsan terjednek, ugyanakkor kritikái is akadnak a használt módszereknek. Kö-

zülük Janky a mérnökinformatikus Judea Pearl-t emelte ki, aki maga is jelentős szerepet játszott gépi tanulási eljárások, például a bayesi hálózatok kifejlesztésében és a mesterséges intelligencia valószínűségi modellezésében.

A gépi tanulási eljárásoktól mind a közgazdászok, mind a mérnökinformatikusok „oksági összefüggések azonosítását” várják – mondta Janky –, azonban amíg a közgazdász kutatók megbízhatóbban és pontosabban szeretnék azonosítani az oksági kapcsolatokat a gépi tanulási eljárások segítségével, addig a mérnökinformatikusok fordítva gondolkodnak: az oksági statisztikától várják, hogy az segítse a gépi tanulási algoritmusok fejlesztését, hogy azok rászolgálhassanak a mesterséges intelligencia kifejezésre.

A Pearl-féle oksági statisztika – az ún. „gépi gondolkodás” – elméletvezérelt, szemben a klasszikus gépi tanulással, amely adatvezérelt. Janky a pearl-i elmélet összefoglalóját ebből a kiindulópontból építette fel, kifejtve, hogy mit is jelent az elméletvezéreltség: A kutatóknak előzetesen, a kutatás tárgyához kapcsolódó elméleti tudást felhasználva fel kell rajzolniuk egy oksági gráfot: azonosítva a változók közötti mérhető és nem mérhető oksági kapcsolatokra vonatkozó előfeltevéseket, meghatározva a változók közötti kapcsolatok irányát, illetve kizárva bizonyos változók közötti kapcsolatokat. Mindez Rudas Tamás előadásában (lásd például Németh–Rudas 2013a, 2013b) is elhangzott, azonban Janky példákat is mutatott az elméletet leképező irányított aciklikus gráfra. Janky hozzátette, hogy ez a megközelítés segíthet a regressziós modellt alkalmazó társadalomtudósoknak is, hiszen az oksági gráf felrajzolásakor azonosíthatók például azok a háttérváltozók, amelyekre nem szabad kontrollálni a modellben, mert elfedhetik a vizsgálni kívánt hatást.

Janky Béla ugyanakkor megerősítette a Pearl-féle elméletre vonatkozó kritikát, és hozzátette, hogy a kortárs közgazdaságtani alkalmazások is hasonló érvelést alkalmaznak: Pearl és Imbens között hosszabb vita folyt, melynek egyik sarokpontja a manipulálhatóság, mert a közgazdaságtanban sem lehetséges a releváns tényezők szabad manipulálása. Janky szerint ennek következtében az elemzési kérdések is különbözőek a két szemléletben. A Pearl elméletét alkalmazók az „elméleti önálló hatás”, míg a közgazdászok a „kezelés eredmény[ének]” kimutatására törekednek. Janky egyetértett Rudas Tamás kritikájával abban is, hogy feltalálásként kategorizálhatók a pearl-i elmélet eredményei, szerinte is egy olyan javaslatról van szó, amely az oksági kapcsolatok bizonyos típusát képes rekonstruálni, de másokat, köztük a társadalomtudományiakat, nem feltétlenül.

Oksági következtetések az epidemiológiában

Ferenci Tamás az oksági következtetések epidemiológiai alkalmazásairól beszélt előadásában, a kutatások fejlődéstörténete mentén rámutatva arra, hogy az oksági elemzés az epidemiológiában bizonyos értelemben más tudományterületektől függetlenül, az elméleti keretek pontos meghatározása nélkül alakult.

Az epidemiológiában kevés kivételt (például a gyógyszerkutatásokat) leszámítva – amelyek esetében lehetséges randomizált kontrollált kísérleteket végezni – megfigyeléses vizsgálatokkal dolgoznak a kutatók. A megfigyeléses vizsgálatok során azonban problémás az oksági következtetések levonása (ahogy erről a másik két előadásában is volt szó). A megfigyeléses vizsgálatokon alapuló kutatásoknak foglalkozniuk kell az ún. *confounding* változók, vagy másképpen, a zavaró változók kérdésével. Ferenci röviden felidézte, hogy a zavaró változó: 1) összefügg a vizsgált beavatkozással (például egészségre káros anyag belégzése vagy elfogyasztása, általánosabban: kapott-e kezelést a beteg, vagy sem), illetve 2) kihat a megfigyelni kívánt eredményekre.

Az epidemiológiai kutatások egyik leggyakrabban használt módszere a regresszió, amely a zavaró változók jelenlétéből fakadó torzításokat kontrollváltozók használatával igyekszik kiküszöbölni. A 80-as évekig az a szemlélet volt uralkodó az epidemiológusok körében, hogy minden felmerülő zavaró tényezőt érdemes kontrollálni, hiszen a felesleges kontrollálással legrosszabb esetben a varianciát növeli a kutató, ellenben, ha kimarad egy változó, amire kontrollálni kellene, akkor az torzításhoz vezethet. Az egyik legkorábbi kutatás, amely során felmerült, hogy ennél komplikáltabb a dolog, az anyai életkor és a csecsemőhalandóság összefüggését vizsgálta. Itt nyilvánvaló zavaró tényező (*confounder*) lehet a csecsemő születési tömege, hiszen az idősebb anyák gyerekei várhatóan kisebb tömeggel születnek, a kisebb születési tömeg pedig növelheti a halandóságot. Azonban ebben az esetben nem a *confounding* klasszikus helyzetével álltak szemben az epidemiológusok, mert a születési tömeg kontrollváltozóként való használatával kivették azt a hatást, amely a csecsemőhalandóságot a születési tömegen keresztül befolyásolta. Ahogy Ferenci elmondta, a bemutatott esetben „az anyai életkor hat a gyermek születési tömegére, és az hat a csecsemőhalandóságra”. Felmerült, hogy létezhet-e a szülő nő életkorának olyan egyéb hatása, amelyet nem az újszülött születési tömege közvetít. A KÜLÖNBÖZŐ HATÁSOK FELÍRÁSÁHOZ KAUZÁLIS DIAGRAMOKAT HASZNÁLTAK AZ EPIDEMIOLÓGUSOK anélkül, hogy ismerték volna a más tudományterületeken kidolgozott – és fentebb bemutatott – irányított gráf modelleket és a kapcsolódó matematikai elméleteket, terminológiát. A kauzális láncban szereplő *confounder* változót, amely valamilyen hatást közvetít, általában közvetítő (moderátor) változónak nevezik. Nem biztos, hogy az erre való kontrollálás a tartalmi kérdés szempontjából elméletileg indokolt. Orvosi szempontból az anya életkorának hatásából nem feltétlenül helyes kiszűrni a születési tömeg hatását, ezért a moderátor változóra kontrollálás túlkontrollálás (*overadjustment*) lenne.

Szemelvények az előadásokat követő vitából

Az előadásokat és a hozzászólásokat követő beszélgetés a szó hagyományos értelmében nem volt vita, hiszen az előadók alapvetően egyetértettek az oksági elemzések alkalmazhatóságát illetően.

Rudas Tamás összefoglalása nyomán a természettudományos szemlélet okság fogalma – amelyet a mérnökinformatikus Pearl is használ – függvényként képzelhető el, amelyben rögzített tényezők (paraméterek) mentén manipulálható a kísérleti helyzet, és vizsgálható az oksági hatás. Mint Rudas megjegyzi, „Pearl valóban egy idealizált oksági helyzettel foglalkozik”, amelyre vonatkozóan elmélete is sikeres lett, azonban „nem szabad azt hinnünk, hogy mindig igaz”; lehetséges az okságot másképpen meghatározni és eltérni az általa vett okság definíciótól. Azt sem lenne helyes várni, hogy rámutassunk egy elméletre, az okság egy bizonyos definíciójára, amely minden esetben követendő. Ahogy Rudas a George E. P. Boxnak tulajdonított mondást parafrázeálta: „minden elemzés rossz, de azért némelyik hasznos”. A *Módszeresen* sorozat ethoszának megfelelően emellett érvelhetünk, hogy az oksági elemzések esetében sem kerülhető meg a kritikai reflexió, a különböző módszerek és okságdefiníciók közötti választás következményeinek átgondolása.

Irodalom

- Angrist, J. – Imbens, G. W. – Rubin, D. B. (1996): Identification of Causal effects Using Instrumental Variables. *Journal of the American Statistical Association*, 91, 444–455. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1996.10476902>
- Athey, S. – Imbens, G. – Pham, T. – Wager, S. (2017): Estimating average treatment effects: Supplementary analyses and remaining challenges. *American Economic Review*, 107(5): 278–281. DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.p20171042>
- Athey, S. – Imbens, G. W. (2019): Machine learning methods that economists should know about. *Annual Review of Economics*, 11, 685–725. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080217-053433>
- Berkson, J. (1946): Limitations of the application of fourfold table analysis to hospital data. *Biometrics Bulletin*, 2(3): 47–53. DOI: <https://doi.org/10.2307/3002000>
- Fisher, R. A. (1957): Alleged dangers of cigarette-smoking. *British Medical Journal*, 2, 297–298. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.2.5039.297-b>
- Fisher, R. A. (1958a): The nature of probability. *The Centennial Review of Arts & Science*, 2, 261–274.
- Fisher, R. A. (1958b): Cigarettes, cancer, and statistics. *The Centennial Review of Arts & Science*, 2, 151–166.
- Fisher, R. A. (1958c): Cancer and smoking. *Nature*, 182(4635): 596–596. DOI: <https://doi.org/10.1038/182596a0>
- Fisher, R. A. (1959): *Smoking: the cancer controversy: some attempts to assess the evidence*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Imbens, G. W. – Rubin, D. B. (2015): *Causal inference in statistics, social, and biomedical sciences*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025751>

- Imbens, G. W. (2020): Potential outcome and directed acyclic graph approaches to causality: Relevance for empirical practice in economics. *Journal of Economic Literature*, 58(4): 1129–1179. DOI: <https://doi.org/10.1257/jel.20191597>
- Németh, R. (2014): Oksági következtetés az empirikus szociológiai kutatásban. Habilitációs disszertáció, ELTE Társadalomtudományi Kar.
- Németh R. – Rudas, T. (2013a): On the application of discrete marginal graphical models. *Sociological Methodology*, 43:(1): 70–100.
DOI: <https://doi.org/10.1177/0081175013481960>
- Németh, R. – Rudas, T. (2013b): Discrete Graphical Models in Social Mobility Research: A Comparative Analysis of American, Czechoslovakian and Hungarian Mobility before the Collapse of State Socialism. *Bulletin de Methodologie Sociologique*, 118:(1), 5–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/0759106313476192>
- Neyman, J. (1923): On the Application of Probability Theory to Agricultural Experiments. Essay on Principles. Section 9. *Statistical Science*, 1990, 5 (4): 465–472. Trans. Dabrowska, D. M. – Speed, T. P.
DOI: <https://doi.org/10.1214/ss/1177012031>
- Neyman, J. (1937): Outline of a Theory of Statistical Estimation Based on the Classical Theory of Probability. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 236 (767): 333–380.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1937.0005>
- Pearl, J. (1995): Causal diagrams for empirical research. *Biometrika*, 82(4), 669–688.
DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/82.4.669>
- Pearl, J. (2009): *Causality. Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511803161>
- Rubin, D. B. (1974): Estimating Causal Effects of Treatments in Randomized and Nonrandomized Studies. *J. Educ. Psychol*, 66 (5): 688–701.
DOI: <https://doi.org/10.1037/h0037350>
- Rubin, D. B. (1978): Bayesian Inference for Causal Effects: The Role of Randomization. *The Annals of Statistics*, 6, 34–58. DOI: <https://doi.org/10.1214/aos/1176344064>
- Rubin, D. B. (2005): Causal Inference Using Potential Outcomes. *J. Amer. Statist. Assoc*, 100 (469): 322–331. DOI: <https://doi.org/10.1198/016214504000001880>