**PENARIKAN KESIMPULAN PENELITIAN EPIDEMIOLOGI**

Inferensi  adalah pengambilan keputusan atau tepatnya pengambilan kesimpulan. Dalam ilmu pengetahuan pada umumnya  pengambilan kesimpulan (inferensi) didasarkan pada metode penalaran induktif  dan metode penalaran deduktif. Dalam bidang **Epidemiologi  Kesehatan** pengambilan kesimpulan  cenderung tidak  berdasarkan kedua metode ini. **Ada ciri khas tersendiri dalam Ilmu Epidemiologi  Kesehatan dalam pengambilan kesimpulan.** Ciri khas inilah yang akan saya jelaskan pada kesempatan ini, yaitu  “inferensi  dalam epidemiologi” dan “inferensi epidemiologi”. Refrensi dari tulisan ini saya ambil dari buku terjemahan Bahasa Inggris ke Indonesia  yang  berjudul**Inferensi Kausal di edit oleh Kenneth Rothman**, sulit untuk memahaminya, karena merupakan ilmu epidemiologi (kesehatan) keahlian, dengan adanya pengalaman melaksanakan ilmu epidemiologi  kesehatan ahli ditempat kerja——— fungsional epidemiologi kesehatan ahli——- saya sedikit dapat memahaminya,  dan  mencoba untuk menyederhanakannya dalam bentuk tulisan ini.

Pengertian

Inferensi dalam Epidemiologi dan Inferensi Epidemiologi merupakan dual variabel  yang sepintas terlihat sama namun mempunyai pengertian yang berbeda. **Inferensi dalam epidemiologi** artinya pengambilan kesimpulan  (keputusan) dalam ilmu epidemiologi, dalam pengertian pengambilan kesimpulan (keputusan) yang dilakukan secara induktif dan deduktif, walaupun kedua cara ini tidak memiliki aturan yang sama namun dalam ilmu  epidemiologi memungkinkan untuk pengambilan kesimpulan dalam satu aturan yang sama dari kedua metode tersebut. Sedangkan **inferensi epidemiologi** diartikan sebagai  pengambilan kesimpulan (keputusan)  berdasarkan kajian epidemiologi semata.

*Wade Hampton Frost mengambarkan epidemiologi  :*

*……. Sesuatu yang dapat  memperlihatkan keseluruhan fakta-fakta. Termasuk susunannya yang teratur menjadi mata rantai inferensi yang luas, kurang atau lebih melewati batas-batas pengamatan langsung. Rantai-rantai seperti itu, kalau ditata dengan baik dan benar mengarahkan penyelidikan kepada fakta-fakta masa depan,………*

Inferensi Epidemiologi merupakan proses menarikan kesimpulan dalam kelompok orang atau Masyarakat  yang mengalami masalah kesehatan dan atau penyakit ——–ingat! epidemiologi  tidak menarik kesimpulan untuk satu orang induvidu——— Penarikan kesimpulan epidemiologi kesehatan ini menyangkut 3 (tiga) komponen utama yaitu :

1. Distribusi  masalah  Kesehatan dan atau penyakit (distribution )  yang dilihat dari tiga unsur utama  yaitu tempat, orang dan waktu,
2. Penyakit (Frekwensi) melihat besar-kecilnya masalah (masalah kesehatan dan atau masalah penyakit)
3. Penentu (determinan) adalah factor-faktor sebab-musebab terjadinya suatu  masalah kesehatan dan atau penyakit

Contoh bagaimana melihat  hubungan merokok dengan terjadinya kanker : Pola orang yang merokok dengan atau tanpa kanker dapat mendasari kesimpulan ***“Hubungan merokok dengan resiko timbulnya kanker  dalam populasi dimana sampel diambil”***Yang dilihat adalah pola orang yang merokok, Fokusnya adalah  Hubungan yang terkandung dalam penyebaran-penyebaran gabungan dan agent kausal (sebab-musebab dari suatu penyebab)  yang diduga. Penekanannya adalah penyebab dari suatu kasus (bicause of a cause) bukan akibat dari suatu kasus (result of a cause). ——————–> tugas utama dari seorang epidemiolog  mencari penyebab.

Pengambilan Kesimpulan

Sangat jauh berbeda dengan  pengambilan keputusan pada umumnya yaitu ciri khas dari pengambilan kesimpulan  (keputusan)  ini biasanya dinyatakan atau menggunakan **Metode Penalaran Induktif dan Metode Penalaran Deduktif.**

Dari pengamatan-pengamatan khusus ke generalisasi-generalisasi  yang bersifat umum tentang sistem dari mana sampel pengamatan diambil untuk digambarkan **sebagai Inferensi Induktif atau pengambilan kesimpulan induktif.**Disini penekanannya  adalah  **pengamatan khusus (special observation)**, sedikit menyamai kajian epidemiologi kesehatan namun tetap mempunyai aturan yang berbeda.

Pernyataan khusus tentang suatu kejadian khusus yang harus berasal  dari suatu pernyataan (atau hipotesis) aksiomatik umum yang kebenarannya diasumsikan untuk tujuan argumennya  digambarkan sebagai  **Argumen**(kesimpulan)**Deduktif atau pengambilan kesimpulan secara  deduktif.**Disini penekanannya adalah **Pernyataan khusus (special statement)**

**Contoh bagaimana menjelasakan (cegah) kesakitan dari HIV dan AIDS**

* **Virus HIV—————————– >AIDS**
* **Jika kita miliki Virus HIV maka kita menderita AIDS**
* **Jika kita miliki HIV maka kita  mutlak menderita AIDS**
* **Tidak menderita AIDS berarti kita tidak punya virus**

Contoh diatas ( ***Kesimpulan Deduktif*** ) tidak menunjukan Etiologi AIDS karena hanya memuat pernyataan khusus (special statement)  sementara  ***Inferensi Induktif*** bisa menggambarkan etiologi AIDS karena memuat hasil dari pengamatan khusus (special absevation)

Penjelasannya, dikatakan kesimpulan deduktif karena pernyataan ”jika kita memiliki HIV maka Kita mutlak menderita  AIDS” Disini penekannnya adalah pernyataan (special statement) seseorang yang memiliki virus HIV adalah orang yang telah menderita AIDS. Mereka berani mengatakan (membuat statement) bahwa Immune Deficiensy (AIDS) adalah virus.

Kalau dilihat dari  atau dikatakan sebagai kesimpulan induktif, disini yang dilihat adalah orang-orang yang menderita AIDS (special abservation) adalah orang-orang  dengan penurunan sistem kekebalan (Immune Deficiency), bisa menggambarkan secara detail etiologi (sebab terjadinya) AIDS.

Jadi metode penalaran induktif dan deduktif  tidak mengikuti peraturan yang sama tetapi sebenarnya saling mendukung. Namun ketika  kesimpulan deduktif dikemukakan maka akan diganggu oleh induktif (Induction Problem=Masalah Induksi), demikian juga sebaliknya, ketika kesimpulan induktif dikemukakan akan diganggu oleh Deduktif (Deduktion Problem=Masalah Deduktif).

**Pemecahannya adalah katanlah, “tidak ada apa yang dinamakan  induksi,”…” induksi adalah mitos,”….dan ” peraturan-peraturan masuk akal induksi tidak ada.” Jikalau seseorang ingin menarik kesimpulan atau keputusan secara deduktif. Demikian sebaliknya katanlah “tidak ada apa yang dinamakan  deduktif,”…” deduktif  adalah mitos,”….dan ” peraturan-peraturan masuk akal deduktif tidak ada.”**

Pendekatan yang lebih baik adalah

1. membandingkan peraturan-peraturan induktif dan deduktif dalam epidemiologi kesehatan
2. pertimbangkan, “apakah induksi dapat diterapkan tampa menimbulkan inkonsistensi-inkonsistensi?”
3. “apakah ia menolong kita!”
4. dan “apakah kita betul-betul membutuhkannya!”

**Mengapa perlu diperhatikan**

Mengartikan Inferensi dalam epidemilogi dan inferensi epidemilogi dan kemudian mencoba mengambil atau menarik kesimpulannya dapat membantu melaksanakan pekerjaan (kegiatan kesehatan) seorang epidemiolog dengan cara yang lebih efektif tentang hubungan sebab musebab. Dan inilah sebenarnya tujuan dari penerapan epidemiologi kesehatan yaitu :

1. Distribusi Kesehatan (distribusi ) dapat melihat berapa yang sakit dan yang mati
2. Penyakit ( Frekwensi )  dapat melihat besar kecil masalah
3. Penentu ( determinan ) terjadinya masalah dan atau penyakit
4. kemudahan  tindakan pencegahan (cegah Kesakitan)
5. kemudahan dalam meningkatkan upaya kesehatan ( kegiatan Kesehatan)

Jadi  sekali lagi  kelima point-point  epidemiologi (kesehatan) tersebut merupakan dasar dari pengambilan keputusan  atau tepatnya pengambilan kesimpulan dan merupakan tujuan dari pelaksanaan epidemiologi kesehatan. Selalu dimulai dari penyebab dari suatu kasus (bicause of a cause) bukan akibat dari suatu kasus (result of a cause).

Interaksi antara Epidemiologi dan Pengambilan Keputusan

Gambar dibawah ini sekaligus menjelaskan  Peraturan-peraturan untuk Inferensi Epidemiologik (kesehatan) untuk menjembatani persoalan-persoalan metode penalaran induktif dan metode penalaran deduktif.

Lebih jelas coba lihat gambar berikut ini



Peraturan-Peraturan Inferensi Epidemiologik

Langkah satu pada gambar diatas untuk metode penalaran induktif dimulai dengan perumusan-tujuan-tujuan, sedangkan untuk metode penalaran deduktif langkah satu dimulai dengan  hipotesis dan pernyataan-pertanyaan spesifik.

Bagaimana mengabungkan kedua metode yang mempunyai aturan yang berbeda ini? hanya dengan aturan-aturan epidemiologik memungkinkan untuk dilakukan.

**Peraturan-Peraturan Untuk Inferensi Epidemiologic kesehatan tersebut adalah**

1. Rumuskan secara seksama pertanyaan yang anda ingin jawab dengan cara yang khusus untuk distribusi dari masalah kesehatan  dan atau masalah penyakit dalam kelompok masyarakat.
2. Kumpulkan data, dari jenis dan dengan cara, yang bersangkut-paut dengan tujuan-tujuan penelitian
3. Susun  data menurut cara yang akan membantu menunjukkan pola-pola yang tersurat atau tersirat dalam hipotesis-hipotesis yang berkaitan dengan tujuan-tujuan ( Ingat! Pola-Pola terjadinya suatu Kasus)
4. Buat prediksi-prediksi (dari sampel data ) tentang penyebaran-penyebaran gabungan kesehatan, penyakit dan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mereka dalam populasi darimana data diambil.
5. Periksa dengan teliti reliabilitas prediksi-prediksi tersebut.

Hasilnya seperti disajikan pada gambar diatas adalah bentuk intervensi (kegiatan kesehatan) yang dihasilkan, karena epidemiologi kesehatan adalah ilmu yang mempelajari tentang masalah kesehatan dan atau masalah penyakit  yang terjadi di masyarakat (Kesehatan Masyarakat bukan masalah induvidu). Maka hasil dari pengambilan kesimpulan (keputusan)  adalah membantu dalam pengambilan keputusan kebijakan kesehatan, tidak membedakan apakah asal dari pengambilan kesimpulan berdasarkan metode  penalaran deduktif  atau metode penalaran  induktif tetapi semua satu dalam inferensi epidemiologik.

**Kesimpulannya**

Dalam hal pengambilan keputusan atau tepatnya pengambilan kesimpulan, epidemiologi kesehatan mempunyai cara tersendiri, membedakannya dengan pengambilan kesimpulan berdasarkan penalaran induktif dan deduktif  yang berjalan  yang berlawan (aturan yang berbeda) tapi saling membutuhkan. Dengan pengambilan kesimpulan Epidemiologi Kesehatan dapat menghasilkan aturan yang sama dan tentunya bukan saja saling membutuhkan tetapi juga saling memperkuat (Inferensi yang kuat = pengambilan kesimpulan yang bermakna). Intinya  Seorang Epidemiologi Kesehatan (Epidemiolog) dalam melakukan kegiatan selalu memfokuskan diri pada penyebab dari suatu kasus (bicause of a cause) bukan akibat dari suatu kasus (result of a cause) dan hanya bisa dilakukan dengan berdasarkan kajian epidemiologi semata.

Secara observasional yang disebut penyebab penyakit harus memenuhi bebrapa kriteria sebagai berikut:

1. Temporal

Hal ini bahwa agent harus dapat dibuktikan beraksi terlebih dahulu sebelum terjadi penyakit. Kriteria ini berlaku pada semua konsep penyebab penyakit. Tetapi kesulitan terjadi pada penyakit menahun/kronis yang sulit diketahui kapan mulainya, sehingga sulit ditentukan mana sebab dan mana akibat.

1. Konsistensi

Yang di maksud dengan konsistensi adalah konsistensi hasil penelitian tentang hal yang sama, dan member kesimpulan yang sama, dimanapun dilakukan, bahkan menggunakan metode yang berbeda.

1. Kekuatan Asosiasi

Asosiasi antara penyebab potensial dengan penyakit, yang dinyatakan dalam resiko relatif, akan semakin kuat apabila angkanya semakin besar. Semakin besar angka ini semakin sedikit kemungkinannya bahwa hubungannya palsu.

1. Hubungan Dosis-Respons

Apabila terdapat hubungan dosis dan respons, dalam berbagai dosis, maka akan mempermudah interpretasi asosiasi kausal. Hubungan dosis dan respons disebut ada, apabila perubahan pada dosis akan menyebabkan peruban pula pada respons (keparahan atau kematian, atau frekuensi penyakit).

1. Koherensi

Apakah kesimpulan asosiasi kausal ini sejalan dengan hasil penelitian di bidang lain? Apakah secara biologis hal itu dapat terjadi, atau secara teoritis dimungkinkan.

Semua kriteria ini tidak berdiri sendiri – sendiri. Asosiasi kausal harus didukung oleh sebagian besar kriteria tadi. Lebih baik lagi kiranya apabila asosiasi kausal ini kemudian didapat di dukung oleh penjelasan mekanisme terjadinya penyakit atau proses patologis.

Penyebab , Hubungan yang berlangsung antara dua peristiwa simultan atau berurutan sementara ketika peristiwa pertama (penyebab) membawa yang lain (efek). Menurut David Hume , ketika kita mengatakan tentang dua jenis objek atau peristiwa "X menyebabkan Y" (misalnya, api menyebabkan asap), kita berarti (i) Xs "terus-menerus digabungkan" dengan Ys, (ii) Ys mengikuti Xs dan tidak sebaliknya, dan (iii) ada "koneksi yang diperlukan" antara Xs dan Ys sehingga setiap kali X terjadi, suatu Y harus mengikuti.

Berbeda dengan ide-ide kedekatan dan suksesi, bagaimanapun, ide koneksi yang diperlukan adalah subyektif, dalam arti itu berasal dari tindakan merenungkan objek atau peristiwa yang telah kita alami sebagai terus-menerus digabungkan dan menggantikan satu sama lain dalam urutan tertentu, bukan daripada dari sifat yang dapat diamati dalam objek atau peristiwa itu sendiri. Ide ini adalah dasar dari masalah klasik induksi , yang dirumuskan Hume. Definisi Hume tentang sebab-akibat adalah contoh dari analisis "keteraturan". Jenis analisis lain termasuk analisis kontrafaktual, analisis manipulasi, dan analisis probabilistik.

C ausation telah lama menjadi misteri, membingungkan para filsuf dan ilmuwan selama berabad-abad. Apa itu sebenarnya? Bagaimana hal itu dapat diukur - yaitu, dapatkah kita menilai kekuatan hubungan antara sebab dan akibatnya? Apa hubungan yang diamati antara faktor - korelasi - memberitahu kita tentang kemungkinan hubungan sebab akibat? Bagaimana beberapa faktor atau penyebab secara bersama mempengaruhi hasil? Dan apakah sebab-akibat bahkan ada "di dunia," seolah-olah, atau apakah itu hanya kebiasaan pikiran kita, hubungan yang kita tarik antara dua peristiwa yang telah kita amati secara berurutan berkali-kali, seperti yang diperdebatkan oleh Hume?

Literatur filosofis yang kaya tentang sebab-akibat adalah bukti perjuangan para pemikir sepanjang sejarah untuk mengembangkan jawaban yang memuaskan atas pertanyaan-pertanyaan ini. Demikian juga, para ilmuwan telah lama bergelut dengan masalah sebab akibat dalam menghadapi banyak rintangan praktis dan teoretis.

Namun ketika berbicara tentang sebab akibat, kita biasanya menerima begitu saja gagasan tentang apa itu dan bagaimana kita dapat menilainya. Kami melakukan ini setiap kali kami mempertimbangkan konsekuensi dari tindakan kami atau orang lain, efek dari intervensi pemerintah, dampak teknologi baru, konsekuensi dari pemanasan global, efektivitas perawatan medis, bahaya obat-obatan jalanan, atau pengaruh dari film populer.

Beberapa pernyataan kausal terdengar kuat, seperti ketika kita mengatakan perlakuan menyembuhkan seseorang atau pengumuman oleh pemerintah menyebabkan kerusuhan. Yang lain memberi kesan yang lebih lemah, seperti ketika kita mengatakan penahanan pemimpin oposisi mempengaruhi persepsi internasional. Akhirnya, beberapa pernyataan hanya mengisyaratkan sebab-akibat, seperti ketika kita mengatakan bahan kimia bisphenol A telah dikaitkan dengan diabetes.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah menjadi diterima secara luas di berbagai bidang, seperti manajemen bisnis, ekonomi, pendidikan, dan kedokteran, keputusan harus "berbasis bukti" - pengetahuan tentang hasil, dikumpulkan dari studi ilmiah dan empiris lainnya sumber, harus menginformasikan pilihan kami, dan kami berharap pilihan ini akan menyebabkan hasil yang diinginkan. Kami menginvestasikan sejumlah besar dalam studi, berharap menemukan hubungan sebab akibat antara peristiwa. Akibatnya, statistik menjadi semakin penting, karena memberikan wawasan tentang hubungan antara faktor-faktor dalam analisis yang diberikan. Namun, industri jurnalisme sains cenderung mendistorsi apa yang ditunjukkan oleh penelitian dan statistik, sering kali melebih-lebihkan hubungan sebab akibat dan mengabaikan nuansa penting.

Sebab-sebab jarang jarang sesederhana seperti yang kita asumsikan dan, mungkin karena alasan ini, kerumitannya sering diabaikan atau bahkan diabaikan. Ini bukan masalah sepele. Kesalahpahaman hubungan sebab-akibat dapat mengakibatkan tindakan yang tidak efektif dipilih, praktik-praktik berbahaya terus berlanjut, dan alternatif-alternatif menguntungkan diabaikan. Sayangnya, hype baru-baru ini tentang "data besar" telah mendorong gagasan aneh masalah seperti itu dapat dihapus berkat kekuatan komputasi kolosal dan database yang sangat besar. Anggapannya adalah banyaknya volume informasi, dengan bantuan alat analisis data, akan mengungkapkan korelasi yang begitu kuat sehingga pertanyaan tentang penyebab tidak perlu lagi menjadi perhatian kita. Jika dua peristiwa cukup sering terjadi secara bersamaan, maka pemikiran itu berjalan, kita dapat mengasumsikan keduanya terkait secara kausal, bahkan jika kita tidak tahu bagaimana atau mengapa.

Seperti yang akan kita lihat, memahami sebab akibat sebaik mungkin tetap diperlukan untuk menafsirkan data, apakah besar atau kecil. Dalam esai ini kita kebanyakan akan mengesampingkan literatur filosofis yang kaya dan kompleks tentang sebab-akibat, alih-alih memfokuskan perhatian kita pada hal-hal yang lebih praktis: bagaimana kita harus berpikir tentang sebab-akibat dan korelasi dalam kedokteran, politik, dan kehidupan kita sehari-hari. Kami akan membahas beberapa kemajuan luar biasa dalam berpikir tentang hubungan sebab-akibat, kemajuan yang dimungkinkan oleh pertemuan berbagai ide dari berbagai cabang ilmu pengetahuan, statistik, dan matematika. Meskipun pemahaman mendalam tentang perkembangan ini membutuhkan pengetahuan teknis khusus, ide-ide mendasar cukup dapat diakses, dan mereka memberikan wawasan tentang berbagai pertanyaan sambil menunjukkan beberapa keterbatasan yang tersisa.

Teka-teki Penyebab

Mari kita mulai dengan contoh yang akrab. Kita tahu merokok menyebabkan kanker paru-paru. Tetapi tidak semua orang yang merokok akan mengembangkannya; merokok bukanlah penyebab kanker paru-paru yang cukup . Merokok bukan penyebab yang perlu ; orang yang tidak merokok masih dapat mengembangkan kanker paru-paru. Kata kerja "menyebabkan" sering mengingatkan pikiran tentang sebab-akibat yang tidak realistis. Tetapi jarang suatu peristiwa hanya memiliki satu penyebab, seperti dicatat John Stuart Mill dalam A System of Logic (1843):

Jarang, jika pernah, antara konsekuensi dan anteseden tunggal urutan ini tetap ada. Biasanya antara konsekuensi dan jumlah beberapa anteseden; persetujuan dari mereka semua yang diperlukan untuk menghasilkan, yaitu, dipastikan diikuti oleh, konsekuensinya.

Berdasarkan wawasan serupa di sejumlah bidang, termasuk [filsafat](https://www.kompasiana.com/tag/filsafat), hukum, dan epidemiologi, para sarjana dalam beberapa tahun terakhir mengusulkan model sebab-akibat yang cukup bersama untuk menunjukkan bagaimana banyak penyebab dapat bertanggung jawab atas satu hasil. Sudah menjadi umum dengan bantuan model-model semacam itu untuk mengungkapkan sebab-akibat dalam hal probabilitas: ketika hanya satu faktor, seperti merokok, diketahui memiliki kemungkinan pengaruh terhadap suatu pengaruh, kesan apa pun dari sebab-akibat yang memadai dapat dihindari dengan hanya mengatakan merokok "meningkatkan" kanker paru-paru. Pemodelan probabilitas dapat dilihat sebagai strategi untuk menyederhanakan situasi kompleks, seperti halnya model dalam mekanika melibatkan penyederhanaan seperti benda yang jatuh dalam ruang hampa atau meluncur ke bawah bidang tanpa gesekan.

Terjadinya kanker paru-paru mungkin tergantung pada banyak faktor selain merokok, seperti paparan pekerjaan terhadap bahan kimia berbahaya, kecenderungan genetik, dan usia. Beberapa faktor mungkin sama sekali tidak diketahui, dan yang lainnya kurang dipahami. Dalam banyak kasus, pengukuran beberapa faktor mungkin tidak tersedia. Memikirkan penyebab dalam hal probabilitas memungkinkan kita untuk menyederhanakan masalah dengan mengesampingkan beberapa faktor ini, setidaknya untuk sementara.

Ironisnya, penentang utama dari klaim merokok menyebabkan kanker paru-paru adalah ahli genetika Ronald A. Fisher, salah satu pelopor teori statistik modern. Sejumlah penelitian menunjukkan hubungan antara merokok dan kanker paru-paru, tetapi Fisher mempertanyakan apakah ada cukup bukti yang menunjukkan penyebab. (Meskipun perbedaan teknis antara korelasi dan asosiasi kadang-kadang dibuat, istilah-istilah ini akan digunakan secara sinonim dalam esai ini.) Fisher menunjukkan , misalnya, ada korelasi antara impor apel dan tingkat perceraian, yang tentunya bukan sebab-akibat. Dengan demikian Fisher meluncurkan industri rumahan yang menunjukkan korelasi palsu.

Fakta Fisher sendiri adalah perokok dan konsultan untuk perusahaan-perusahaan tembakau kadang-kadang digunakan untuk menyarankan konflik kepentingan. Tetapi bahkan jika dia sangat tidak berdasar tentang hubungan antara merokok dan kanker paru-paru, kekhawatiran umumnya adalah valid. Poinnya sering dirangkum dalam pepatah, "Korelasi bukan sebab-akibat." Hanya karena dua faktor berkorelasi tidak selalu berarti satu menyebabkan yang lain. Namun, seperti Randall Munroe, penulis webcomic xkcd , mengatakan : "Korelasi tidak menyiratkan sebab-akibat, tetapi itu mengibaskan alisnya secara sugestif dan memberi isyarat secara diam-diam sambil mengucapkan 'lihat ke sana.'" Kami tergoda untuk memikirkan korelasi dan sebab akibat sebagai entah bagaimana terkait, dan kadang-kadang mereka - tetapi kapan dan bagaimana?

Perdebatan modern tentang korelasi dan sebab-akibat kembali ke setidaknya pertengahan abad kedelapan belas, ketika Hume berpendapat kita tidak pernah dapat secara langsung mengamati sebab-akibat, hanya "hubungan konstan dua objek." Mungkin tidak mengherankan para ilmuwan dan filsuf telah memiliki perasaan campur aduk tentang sebab-akibat: di satu sisi tampaknya menjadi pusat bagi perusahaan ilmiah, tetapi di sisi lain tampaknya tidak berwujud membingungkan. Hingga hari ini, perdebatan terus berlanjut tentang apakah sebab-akibat adalah fitur dari dunia fisik atau hanya cara mudah untuk berpikir tentang hubungan antar peristiwa. Selama abad kedelapan belas dan kesembilan belas, teori dan metode statistik menikmati pertumbuhan yang luar biasa tetapi sebagian besar menutup mata terhadap sebab-akibat.

Pada tahun 1911, Karl Pearson, penemu koefisien korelasi, menolak sebab - akibat sebagai "jimat lain di tengah-tengah arcana yang tidak dapat dipahami dari bahkan ilmu pengetahuan modern." Tetapi perkembangan pada tahun 1920-an mulai mengurai korelasi dan sebab-akibat, dan membuka jalan bagi metode modern untuk menyimpulkan. penyebab dari efek yang diamati. Sebelum beralih ke teknik-teknik canggih ini, ada baiknya untuk mengeksplorasi beberapa masalah seputar korelasi dan sebab-akibat serta cara penyelesaiannya.

Sumber kebingungan tentang sebab-akibat adalah laporan berita tentang temuan-temuan penelitian sering menyarankan sebab-akibat ketika mereka seharusnya tidak. Klaim kausal mungkin lebih mudah dipahami - bandingkan "sabuk pengaman menyelamatkan nyawa" dengan "penggunaan sabuk pengaman dikaitkan dengan mortalitas yang lebih rendah" - karena ini menghadirkan penyebab (sabuk pengaman) yang bertindak langsung (menyelamatkan nyawa). Tampaknya menceritakan kisah yang lebih menarik daripada klaim korelasional, yang bisa dianggap canggung dan tidak langsung. Tetapi sementara sebuah cerita yang dimaksudkan untuk menjelaskan korelasi mungkin tampak persuasif, klaim kausal mungkin tidak dapat dibenarkan. Pertimbangkan penelitian yang sering dikutip dari psikolog John Gottman dan rekan-rekannya tentang memprediksi perceraian berdasarkan pengamatan pasangan dalam percakapan tentang hubungan mereka dan dalam situasi konflik.

Dalam serangkaian penelitian yang dimulai pada 1990-an, Gottman mampu memprediksi , dengan akurasi setinggi 94 persen, yang akan diceraikan pasangan dalam tiga tahun. Di antara prediktor perceraian terkuat adalah penghinaan, kritik, penghalang, dan pembelaan diri. Ini adalah temuan yang mengesankan, dan telah banyak dilaporkan di media. Sayangnya, mereka telah banyak disalahtafsirkan. Beberapa artikel surat kabar dan majalah telah menyarankan kepada pembaca temuan ini berarti mereka dapat mengurangi risiko perceraian (atau bahkan "bukti perceraian" pernikahan mereka, sebagaimana beberapa orang katakan) dengan mengubah cara mereka berkomunikasi, dan khususnya dengan mengurangi perilaku bermasalah. yang diidentifikasi.

Perubahan seperti itu mungkin bermanfaat, tetapi penelitian Gottman tidak mendukung klaim ini. Prediksinya didasarkan pada korelasi antara perilaku yang dapat diamati dan hasil selanjutnya. Korelasi tidak menyiratkan hasilnya pasti karena perilaku tersebut. tidak menyiratkan mengubah perilaku itu akan mengubah hasilnya. Mungkin saja, misalnya, sikap defensif adalah gejala dari masalah lain dalam suatu perkawinan, dan mengurangi sikap defensif akan memiliki manfaat terbatas kecuali jika penyebab mendasar dari perselisihan tersebut diatasi.

Bagaimana faktor-faktor dapat dikorelasikan tetapi tidak terkait secara kausal? Salah satu alasannya adalah kesempatan murni: hubungan Fisher antara impor apel dan tingkat perceraian hanyalah sebuah kebetulan. Saat ini mudah untuk menghasilkan korelasi palsu seperti itu . Dengan munculnya data besar - kumpulan data besar dikumpulkan secara otomatis, disisir untuk pola oleh sistem komputasi yang kuat - korelasi dapat diproduksi secara massal. Masalahnya adalah banyak dari mereka akan menjadi tidak berarti. Ini dikenal sebagai masalah "penemuan palsu."

Sejumlah kecil asosiasi yang berarti mudah tenggelam dalam lautan penemuan-penemuan kebetulan. Para ahli statistik telah mengembangkan teori dan alat untuk menghadapi masalah temuan kebetulan. Mungkin yang paling dikenal adalah nilai-p, yang dapat digunakan untuk menilai apakah hubungan yang diamati konsisten dengan kebetulan, atau sebaliknya, seperti yang biasa dikatakan, itu "signifikan secara statistik." Kadang-kadang, gagasan signifikansi statistik menjadi sumber kesalahpahaman, termasuk keyakinan korelasi tidak menyiratkan sebab-akibat kecuali korelasi tersebut signifikan secara statistik. Kelemahan dalam keyakinan ini mudah dilihat dalam konteks kumpulan data besar, di mana asosiasi yang diamati sebenarnya dijamin signifikan secara statistik. Volume data semata-mata tidak menjamin klaim tentang penyebab.

Alasan lain mengapa dua faktor dapat dikorelasikan meskipun tidak ada hubungan sebab-akibat adalah karena mereka memiliki penyebab yang sama. Contoh-contoh "perancu" seperti itu, seperti diketahui, terlalu umum dalam literatur ilmiah. Sebagai contoh, sebuah studi tahun 1999 yang diterbitkan di Nature menunjukkan anak-anak di bawah usia dua tahun yang tidur dengan lampu malam lebih mungkin mengalami miopia. Peneliti lain kemudian menunjukkan orang tua rabun lebih cenderung menyalakan lampu di malam hari. Mungkin orang tua adalah penyebab umum dari penggunaan lampu malam dan, berdasarkan warisan genetik, miopia diturunkan kepada anak-anak mereka.

Dalam penelitian medis, mengacaukan dapat membuat perawatan yang efektif tampak berbahaya. Misalkan kita meninjau catatan rumah sakit dan membandingkan hasil pasien dengan penyakit tertentu yang melakukan dan tidak menerima obat baru. Ini mungkin terdengar seperti cara yang baik untuk menentukan seberapa baik obat itu bekerja. Namun, itu dapat dengan mudah menghasilkan apa yang disebut "membingungkan oleh indikasi": bias tertentu mungkin telah mempengaruhi pasien mana yang menerima obat baru. Sebagai contoh, jika pasien yang mendapatkan obat baru adalah yang sakit, maka bahkan jika obat itu membantu, hasil dari pasien yang menerimanya mungkin lebih buruk daripada hasil dari mereka yang tidak.

Perancu dapat membuat perawatan yang tidak efektif tampak membantu. Misalkan seorang pasien menderita penyakit kronis yang keparahannya menyusut dan menyusut. Ketika gejalanya sangat buruk, ia mengunjungi dukun dan gejalanya biasanya membaik dalam satu atau dua minggu. Masalahnya adalah, peningkatan hanyalah akibat dari fluktuasi alami penyakit. Kambuhnya gejala mendorong pasien untuk mengunjungi dukun, tetapi karena penyakit alami, kambuhan diikuti oleh peningkatan dalam satu atau dua minggu. Membingungkan membuat kunjungan ke dukun tampak efektif.

Korelasi yang menyesatkan dapat muncul karena cara subjek dipilih untuk menjadi bagian dari penelitian. Sebagai contoh, ada bukti penelitian tertentu tentang hubungan antara implan payudara dan penyakit jaringan ikat mungkin menderita bias seleksi. Misalkan partisipasi dalam penelitian lebih besar untuk wanita dengan implan dan untuk wanita dengan penyakit jaringan ikat (mungkin dua kelompok ini lebih cenderung merespon kuesioner daripada wanita dari kedua kelompok).

Studi ini kemudian akan mencakup sejumlah besar wanita dengan implan dan penyakit jaringan ikat yang tidak proporsional, yang mengarah ke hubungan bahkan jika tidak ada penyebab sama sekali. Setiap kali pemilihan subjek dalam penelitian adalah efek umum dari kedua variabel paparan dan hasilnya, ada risiko bias seleksi. Telah disarankan bias karena efek yang sama (bias seleksi) mungkin lebih sulit dipahami daripada bias karena penyebab umum (pembaur). Hal ini membuat bias seleksi sangat bermasalah.

Dalam analisis data besar, bias seleksi mungkin sangat merusak karena proses yang memengaruhi individu mana yang termasuk atau dikeluarkan dari basis data tidak selalu jelas. Selain itu, basis data semacam itu seringkali tidak jelas: karena berbagai alasan, banyak catatan mungkin kehilangan beberapa elemen data. Dalam beberapa kasus, catatan yang memiliki nilai yang hilang secara otomatis dihilangkan dari analisis, mengarah ke bentuk bias seleksi lainnya. Dalam kasus ini, asosiasi yang terdeteksi mungkin tidak lebih dari artefak pengumpulan dan analisis data.

Jadi kehadiran suatu korelasi tidak selalu berarti ada hubungan kausal. Mungkin yang lebih mengejutkan, kebalikannya benar: adanya hubungan sebab akibat tidak selalu berarti ada korelasi. Contoh dari ini telah dikaitkan dengan ekonom Milton Friedman. Misalkan termostat menjaga rumah Anda pada suhu konstan dengan mengendalikan tungku minyak. Tergantung pada suhu luar, lebih banyak atau lebih sedikit minyak akan dibakar. Tetapi karena termostat menjaga suhu bagian dalam konstan, suhu bagian dalam tidak akan memiliki korelasi dengan jumlah minyak yang terbakar. Minyak inilah yang membuat rumah tetap hangat - hubungan sebab-akibat - tetapi tidak berkorelasi dengan suhu di dalam rumah. Jenis situasi ini muncul ketika ada umpan balik dalam sistem (di sini termostat menciptakan "lingkaran sebab akibat" antara suhu rumah dan tungku).

dimungkinkan bagi korelasi positif untuk menyertai hubungan kausal negatif (atau korelasi negatif untuk menyertai hubungan kausal positif). Misalkan strategi investasi tertentu menjadi populer di kalangan orang kaya, tetapi sebenarnya itu bukan strategi yang baik dan rata-rata orang yang mencobanya kehilangan uang. Kemudian orang yang menggunakan strategi rata-rata lebih kaya daripada mereka yang tidak, tetapi orang yang menggunakan strategi lebih miskin daripada jika tidak.

Kadang-kadang, bahkan tanpa adanya hubungan sebab akibat, korelasi masih bisa sangat berguna. Gejala penyakit sangat penting dalam mencapai diagnosis; indikator ekonomi tertentu dapat memicu resesi; menurunnya nilai siswa mungkin merupakan tanda masalah di rumah. Dalam setiap kasus ini, satu atau lebih "penanda" dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi yang mendasarinya - apakah itu penyakit, kemerosotan ekonomi, atau masalah keluarga. Mengubah penanda itu sendiri mungkin tidak berpengaruh pada kondisi. Sebagai contoh, demam sering mendahului cacar air, tetapi sementara obat-obatan untuk mengurangi demam dapat membuat pasien merasa lebih baik, mereka tidak berdampak pada infeksi.

Perusahaan asuransi tertarik pada korelasi antara faktor risiko dan hasil yang merugikan, terlepas dari penyebabnya. Misalnya, jika model mobil tertentu berisiko lebih tinggi mengalami kecelakaan, maka perusahaan asuransi akan mengenakan biaya lebih banyak untuk mengasuransikan mobil jenis itu. Bisa jadi pengambil risiko menyukai model itu, atau mungkin kendaraan itu sendiri hanya berbahaya (mungkin, misalnya, memiliki kecenderungan untuk terbalik).

Apa pun penjelasannya, dari perspektif perusahaan asuransi, yang penting adalah jenis mobil ini mahal untuk diasuransikan. Namun, dari sudut pandang lain, penyebab pasti penting: jika tujuannya adalah untuk meningkatkan keselamatan publik, penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kecelakaan. Kadang-kadang, ada kebingungan di sekitar istilah "faktor risiko": di satu sisi itu mungkin hanya merujuk pada penanda risiko (model mobil yang disukai oleh pengambil risiko), sementara di sisi lain itu mungkin merujuk pada faktor yang menyebabkan risiko (mobil yang tidak aman pada kecepatan apa pun).

Akhirnya, bahkan jika memang ada hubungan sebab akibat antara dua faktor, masih ada pertanyaan yang mana penyebabnya dan mana yang pengaruhnya. Dengan kata lain, apa arah penyebabnya? Dengan sendirinya, sebuah korelasi tidak memberi tahu kita tentang hal ini. Tentu saja efeknya tidak dapat muncul sebelum penyebabnya - kecuali dalam novel fiksi ilmiah dan beberapa argumen filosofis yang misterius . Tetapi tergantung pada jenis studi, waktu sebab dan akibat mungkin tidak jelas.

Sebagai contoh, telah diklaim gaya hidup aktif dapat melindungi fungsi kognitif orang tua. Tetapi beberapa bukti menunjukkan arah kausal adalah sebaliknya: fungsi kognitif yang lebih tinggi dapat menghasilkan gaya hidup yang lebih aktif. Kesalahan identifikasi arah sebab-akibat sering disebut sebagai "sebab-akibat terbalik" - meskipun pemahamanlah yang terbalik, bukan sebab-akibatnya. Ketika satu peristiwa mengikuti yang lain, kita sering tergoda untuk menyimpulkan peristiwa pertama menyebabkan yang kedua (disebut oleh frase Latin post hoc ergo propter hoc ). Tetapi asosiasi semacam itu mungkin sebenarnya disebabkan oleh kebetulan, faktor pembaur, atau bias seleksi.

Klaim kausal harus diperiksa dan dibantah ketika tidak ditangguhkan. Tetapi dalam banyak kasus mungkin tidak ada bukti definitif satu atau lain cara. Misalkan korelasi (misalnya antara paparan bahan kimia tertentu dan beberapa penyakit) digunakan untuk mendukung klaim sebab-akibat dalam gugatan terhadap korporasi atau pemerintah. Terdakwa mungkin dapat menghindari pertanggungjawaban dengan mengajukan pertanyaan tentang apakah korelasi tersebut pada kenyataannya memberikan bukti sebab-akibat, dan dengan menyarankan penjelasan alternatif yang masuk akal. Dalam situasi seperti itu, pernyataan korelasi tidak menyiratkan sebab-akibat dapat menjadi alat tujuan umum untuk menetralkan klaim sebab-akibat. Pada akhirnya, ini menimbulkan pertanyaan tentang di mana beban pembuktian dalam kontroversi kausal seharusnya ada. Seperti yang akan kita lihat, poin pentingnya adalah ini adalah diskusi yang layak untuk dilakukan.

Big Data dan Bertanya "Bagaimana Jika?"

Beberapa orang tergoda untuk menghindari masalah membedakan korelasi dari sebab akibat dengan menanyakan apa yang begitu penting tentang sebab akibat. Jika dua faktor berkorelasi, bukankah itu cukup? Chris Anderson, penulis buku terlaris The Long Tail (2006) dan mantan pemimpin redaksi majalah Wired , tampaknya berpikir demikian. Dalam artikelnya tahun 2008 " The End of Theory: Data Deluge Membuat Metode Ilmiah Usang ," Anderson berpendapat di zaman big data, kita dapat membuang sebab akibat:

Ini adalah dunia di mana sejumlah besar data dan matematika terapan menggantikan setiap alat lain yang dapat dibawa untuk ditanggung. Keluar dengan setiap teori perilaku manusia, dari linguistik ke sosiologi. Lupakan taksonomi, ontologi, dan psikologi. Siapa yang tahu mengapa orang melakukan apa yang mereka lakukan? Intinya adalah mereka melakukannya, dan kita dapat melacak dan mengukurnya dengan kesetiaan yang belum pernah terjadi sebelumnya. Dengan data yang cukup, angka-angka berbicara sendiri ...

Korelasi menggantikan sebab akibat, dan sains dapat berkembang bahkan tanpa model yang koheren, teori terpadu, atau benar-benar penjelasan mekanistik sama sekali.

Anderson menyarankan korelasi, yang dengan mudah dihitung dari sejumlah besar data, lebih penting dan berharga daripada upaya untuk mengembangkan kerangka kerja penjelasan. Memang benar korelasi dapat berharga, terutama untuk mendapatkan prediksi - asalkan, tentu saja, korelasi tidak hanya karena kebetulan. Tetapi yang tidak dapat mereka lakukan adalah memberi tahu kami apa yang akan terjadi jika kami melakukan intervensi untuk mengubah sesuatu. Untuk ini, kita perlu tahu apakah hubungan sebab akibat benar-benar ada.

Misalkan sebuah penelitian menemukan bahwa, rata-rata, peminum kopi hidup lebih lama daripada orang yang tidak minum kopi. Berita utama berikutnya menyatakan "peminum kopi hidup lebih lama," yang akan menjadi pernyataan yang benar. Tetapi seseorang yang mendengar tentang penelitian ini mungkin berkata, "Saya harus mulai minum kopi sehingga saya akan hidup lebih lama." Kesimpulan ini sangat menarik, tetapi didasarkan pada dua kesalahpahaman terkait.

Pertama, ada asumsi implisit Anda hanya harus mulai minum kopi untuk menjadi seperti peminum kopi dalam penelitian ini. Para peminum kopi dalam penelitian ini kemungkinan berbeda dari orang-orang yang bukan peminum kopi dalam berbagai cara (diet, olahraga, kekayaan, dll.). Beberapa karakteristik ini memang mungkin konsekuensi dari minum kopi, tetapi beberapa mungkin karakteristik yang sudah ada sebelumnya. Cukup mulai minum kopi mungkin tidak membuat Anda mirip dengan peminum kopi dalam penelitian.

Kesalahpahaman kedua menghasilkan ambiguitas dalam ungkapan "hidup lebih lama." Apa perbandingan yang dibuat di sini? Studi ini menemukan bahwa, rata-rata, anggota satu kelompok (peminum kopi) hidup lebih lama daripada anggota kelompok lain (orang yang tidak minum kopi). Tetapi ketika orang mengatakan melakukan sesuatu akan membuat Anda hidup lebih lama, mereka umumnya berarti itu akan membuat Anda hidup lebih lama daripada jika Anda tidak melakukannya . Dengan kata lain, perbandingan yang relevan bukan antara hasil yang dialami oleh orang-orang yang mengambil satu tindakan dan orang-orang yang mengambil yang lain, tetapi antara hasil dari dua tindakan alternatif yang mungkin diambil oleh seorang individu.

Jadi, jika seseorang mulai minum kopi, maka untuk menentukan efek minum kopi pada lamanya hidupnya, Anda perlu tahu tidak hanya umur sebenarnya tetapi umurnya jika dia belum mulai minum kopi. Ini dikenal sebagai "kontrafaktual" karena itu memerlukan pertimbangan sesuatu selain dari apa yang sebenarnya terjadi. Counterfactual memainkan peran sentral dalam sebagian besar teori sebab-akibat modern.

Dalam kehidupan sehari-hari, orang secara rutin membuat klaim kausal yang akan memerlukan analisis kontrafaktual untuk mengonfirmasi. Berkat diet baru, tetangga Anda kehilangan tiga puluh pound. Seorang rekan kerja dipromosikan karena dia terkait dengan bos. Tim favorit Anda berkinerja buruk tahun ini karena manajer yang tidak kompeten. Tetapi apakah tetangga Anda tidak melakukan jogging? Apakah rekan kerja itu bukan pemain top yang benar-benar pantas mendapat promosi? Apakah para pemain di tim itu bukan yang terburuk di liga? Untuk menilai klaim A menyebabkan B kita perlu mempertimbangkan kontrafaktual: Apa yang akan terjadi jika A berbeda? Untuk mengevaluasi apakah diet tetangga Anda menyebabkan penurunan berat badan, kita perlu mempertimbangkan apa yang akan terjadi seandainya dia tidak berdiet, dan sebagainya. Hume mengatakan seperti ini: "Kita dapat mendefinisikan penyebab untuk menjadi objek, diikuti oleh anothe ... , di mana, jika objek pertama tidak ada, yang kedua tidak pernah ada ."

Counterfactual sampai ke jantung dari apa yang membuat sebab-akibat begitu membingungkan. Kita hanya dapat mengamati apa yang sebenarnya terjadi, bukan apa yang mungkin terjadi. Evaluasi efek sebab akibat tidak mungkin dilakukan tanpa membuat asumsi atau memasukkan informasi di luar hubungan yang dimaksud. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan menggunakan pengganti kontrafakta yang tidak dapat diamati. Anda mungkin mengenal orang lain yang melakukan jogging dan tidak mengubah dietnya. Bagaimana ini bekerja untuknya? Anda mungkin mengingat kinerja terbaik di tempat kerja, yang tidak memiliki hubungan keluarga dengan bos, dan yang telah ditolak promosi selama bertahun-tahun. Anda mungkin ingat tim Anda berkinerja buruk di tahun-tahun sebelumnya dengan manajer yang berbeda.

Meskipun kita tidak pernah dapat secara langsung mengamati efek kausal yang kita duga bertanggung jawab atas suatu asosiasi, kita dapat mengamati asosiasi itu sendiri. Tetapi di hadapan adanya bias perancu atau seleksi, asosiasi mungkin cukup menyesatkan. Untuk menjawab pertanyaan kausal, penalaran kontrafaktual - menanyakan "bagaimana jika?" - sangat diperlukan. Tidak ada jumlah data atau daya komputasi kasar yang bisa menggantikan ini.

Eksperimen dan Pengamatan; Ancaman perancu dan seleksi bias dan kompleksitas penalaran kausal tampaknya menjadi hambatan besar bagi ilmu pengetahuan. Tentu saja, para ilmuwan memiliki alat yang ampuh untuk menghindari kesulitan-kesulitan ini: percobaan. Dalam sebuah percobaan, para ilmuwan memanipulasi kondisi - menjaga beberapa faktor konstan dan memvariasikan faktor minat selama banyak pengulangan - dan mengukur hasil yang dihasilkan. Ketika dimungkinkan untuk melakukan ini, kesimpulan yang valid dapat diperoleh tentang sebab dan akibatnya. Tetapi ketika teknik-teknik ilmiah meluas ke ilmu-ilmu sosial pada abad ke-19, eksperimen-eksperimen menjadi begitu rumit dilakukan sehingga seringkali tidak mungkin untuk mengendalikan semua faktor yang relevan.

Filsuf dan ahli logika Amerika Charles Sanders Peirce sering dikreditkan karena telah memperkenalkan, dalam artikel 1884 " On Small Differences of Sensation ," alat penting desain eksperimental: pengacakan. Dalam percobaan pada kemampuan manusia untuk menentukan dengan benar, dengan tekanan pada satu jari, yang mana dari dua bobot yang sedikit berbeda lebih berat, Peirce dan asistennya Joseph Jastrow menggunakan setumpuk kartu yang dikocok untuk mengacak urutan di mana subjek uji akan mengalami salah satu peningkatan atau penurunan berat badan selama tes berturut-turut. Mulai tahun 1920-an, Fisher mengembangkan lebih lanjut dan mempopulerkan gagasan percobaan acak di bidang pertanian . Tantangan dalam penelitian pertanian adalah dalam suatu lahan selalu ada beberapa variasi kualitas tanah yang tidak terkendali (pH, kelembaban, nutrisi, dll.). Penugasan acak perlakuan (pupuk, varietas benih, dll.) Ke petak berbeda di lapangan memastikan kesehatan percobaan.

Tetapi baru pada akhir tahun 1940-an uji coba terkontrol secara acak (RCT) diperkenalkan dalam kedokteran oleh ahli epidemiologi dan ahli statistik Inggris Austin Bradford Hill dalam sebuah studi tentang pengobatan streptomisin dari tuberkulosis paru . RCT bukan hanya inovasi yang signifikan dalam kedokteran; itu membantu mengantar era saat ini praktik dan kebijakan berbasis bukti di berbagai bidang lain, seperti pendidikan, psikologi, kriminologi, dan ekonomi.

Dalam kedokteran, desain RCT adalah pasien yang memenuhi syarat yang setuju untuk berpartisipasi dalam penelitian secara acak ditugaskan ke salah satu dari dua (atau kadang-kadang lebih) kelompok perawatan. Pertimbangkan RCT membandingkan obat eksperimental dengan yang konvensional. Semua pasien memenuhi kriteria yang sama untuk dimasukkan ke dalam penelitian - misalnya keberadaan penyakit dan berusia 50 atau lebih - dan berakhir dalam satu kelompok atau yang lain murni secara kebetulan.

Hasil dari pasien yang menerima obat konvensional dapat digunakan sebagai pengganti hasil kontrafaktual untuk pasien yang, secara kebetulan, menerima obat eksperimental - yaitu, hasil dari kelompok A dapat dianggap sebagai apa yang akan terjadi pada kelompok B jika kelompok B telah menerima perawatan kelompok A. Ini karena faktor-faktor yang diketahui, seperti jenis kelamin dan usia, dapat dibandingkan antara kedua kelompok (setidaknya rata-rata dengan sampel yang cukup besar). Tetapi faktor yang tidak diketahui, mungkin jumlah olahraga atau tidur yang didapatkan pasien, sebanding. Tidak ada faktor yang diketahui atau tidak diketahui yang memengaruhi apakah pasien menerima obat konvensional atau eksperimental. RCT dengan demikian memberikan kesempatan untuk menarik kesimpulan kausal dalam pengaturan yang kompleks dengan banyak variabel yang tidak diketahui, dengan hanya asumsi terbatas yang diperlukan.

Namun, RCT tidak selalu menjadi pilihan. Untuk satu hal, mereka hanya dapat digunakan untuk mengevaluasi intervensi, seperti obat, tetapi banyak pertanyaan medis menyangkut diagnosis, prognosis, dan masalah lain yang tidak melibatkan perbandingan intervensi. Juga, RCT penyakit langka mungkin tidak layak karena hanya akan memakan waktu terlalu lama untuk mendaftarkan jumlah pasien yang cukup, bahkan di beberapa pusat medis. Akhirnya, adalah tidak etis untuk menyelidiki pertanyaan-pertanyaan tertentu menggunakan RCT, seperti efek pemberian virus kepada orang sehat. Jadi dalam bidang kedokteran dan bidang lainnya, tidak selalu mungkin untuk melakukan percobaan, apalagi yang acak.

Faktanya, penelitian yang tidak melibatkan eksperimen (disebut "observasional" untuk menekankan tidak ada manipulasi eksperimental yang terlibat) sangat umum. Menjadi diterima secara ilmiah merokok menyebabkan - dan tidak hanya berkorelasi dengan - kanker paru-paru bukan karena RCT (yang pasti tidak etis), tetapi lebih karena penelitian observasional.

Studi Dokter Inggris, yang dirancang oleh Richard Doll dan Austin Bradford Hill, berlangsung dari tahun 1951 hingga 2001, dengan hasil penting pertama yang diterbitkan pada awal tahun 1954 dan 1956 . Lebih dari 34.000 dokter Inggris dan kebiasaan merokok mereka disurvei dari waktu ke waktu, dan hasilnya jelas menunjukkan peningkatan angka kematian karena kanker paru-paru ketika jumlah tembakau yang dihisap meningkat, dan penurunan angka kematian karena kanker paru-paru orang-orang sebelumnya berhenti merokok. Beberapa contoh lain dari penelitian observasional adalah survei kepuasan kerja, studi epidemiologi paparan pekerjaan terhadap zat berbahaya, studi tertentu tentang efek pemanasan global, dan perbandingan pengeluaran konsumen sebelum dan sesudah kenaikan pajak.

Tentu saja, ketika tujuannya adalah untuk menarik kesimpulan sebab-akibat sebagai kebalikan dari hanya mendeteksi korelasi, studi observasional - karena mereka tidak diacak - menghadapi berbagai jenis rintangan yang dirancang untuk dihindari, termasuk perancu dan bias seleksi. Berbagai cabang ilmu pengetahuan telah bergulat dengan masalah ini, sesuai dengan jenis masalah yang biasa ditemui dalam disiplin ilmu masing-masing. Misalnya, dalam ekonometrik - penggunaan matematika terapan dan statistik dalam menganalisis data ekonomi - fokusnya adalah pada masalah endogenitas , yang, sederhananya, korelasi antara dua bagian dalam model yang idealnya independen satu sama lain , masalah yang berkaitan erat dengan perancu.

Perlindungan terhadap bias semacam itu telah menjadi fokus utama dalam desain penelitian observasional. Salah satu keterbatasan mendasar dari banyak basis data yang sangat besar saat ini yang sering digunakan untuk studi pengamatan adalah mereka jarang dikumpulkan dengan tujuan atau prinsip seperti itu dalam pikiran. Misalnya, analisis naif terhadap database yang berisi catatan kartu loyalitas supermarket atau perilaku jejaring sosial mungkin rentan terhadap berbagai bias. Telah lama ada minat dalam memperkirakan kekuatan ikatan di jejaring sosial, baik "dunia nyata" dan online.

Salah satu indikator "kekuatan ikat" adalah frekuensi kontak, yang digunakan misalnya dalam analisis pola panggilan telepon seluler. Tetapi frekuensi kontak adalah ukuran kekuatan ikat yang buruk - kasus yang disebut "interpretasi yang membingungkan." Salah satu aspek dari ini adalah dalam banyak kasus kita sering berhubungan dengan orang-orang yang memiliki ikatan yang sangat lemah, seperti rutinitas tetapi interaksi asal saja seperti melakukan panggilan harian ke perusahaan taksi.

Karena kekhawatiran tentang perancu, analisis studi observasi secara tradisional melibatkan teknik statistik untuk "menyesuaikan" untuk perancu yang diketahui atau diduga. Misalnya, insiden sindrom Down dikaitkan dengan urutan kelahiran, tetapi usia ibu mungkin membingungkan karena usia ibu meningkat dengan urutan kelahiran. Dengan memeriksa hubungan antara sindrom Down dan urutan kelahiran secara terpisah dalam kelompok-kelompok urutan kelahiran, yang dikenal sebagai "analisis bertingkat," efek perancu usia ibu dapat dihilangkan. Jenis pendekatan ini memiliki tantangan; bahkan jika itu berhasil, kemungkinan tetap beberapa pembaur belum dimasukkan dalam penyesuaian. Masalah ini, dikenal sebagai "perancu yang tidak terukur," pada dasarnya membatasi tingkat kepastian yang dapat ditarik kesimpulan dari data pengamatan.

Sayangnya, terlalu mudah untuk memperlakukan korelasi dari studi observasional seolah-olah mereka kausal. Anggaplah, misalnya, dalam populasi tertentu, 50 persen orang hidup sampai usia 80 tahun. Tetapi dari mereka yang berolahraga secara teratur, angka itu adalah 70 persen. Jadi, jika Anda memilih seseorang secara acak dari seluruh populasi, ada kemungkinan 50 persen orang itu hidup hingga 80, tetapi jika Anda memilih hanya dari mereka yang berolahraga secara teratur, probabilitas meningkat menjadi 70 persen.

Anda mungkin tergoda untuk mengatakan "olahraga meningkatkan kemungkinan seseorang hidup sampai usia 80 tahun." Tapi ini adalah pernyataan kausal - ini memuji latihan untuk peningkatan probabilitas - yang tidak secara tegas dijamin. Akan lebih akurat untuk mengatakan ini: "Dibandingkan dengan populasi lainnya, seseorang yang berolahraga memiliki peluang lebih tinggi untuk hidup hingga usia 80 tahun." Ada kemungkinan peningkatan ini sebenarnya bukan karena olahraga tetapi untuk faktor-faktor lain, seperti kekayaan atau diet.

Kelemahan studi observasional sering ditekankan ketika tanggung jawab hukum bergantung pada masalah sebab akibat. Misalnya, selama tuntutan hukum terhadap industri tembakau pada 1990-an yang melibatkan efek asap rokok, saksi ahli sering berpendapat studi pengamatan tidak dapat digunakan untuk menunjukkan penyebab. Dalam kasus di mana eksperimen tidak layak atau tidak etis, sikap ini tampaknya mengarah pada kebuntuan dalam kemampuan kita untuk membuat pernyataan kausal. Tetapi percobaan tidak selalu merupakan kata terakhir tentang sebab-akibat dalam sains, tidak harus studi observasi tetap diam.

Penyebab di Abad ke-20

Selama beberapa abad terakhir, metode statistik yang semakin canggih telah dirancang untuk menarik kesimpulan kuantitatif dari pengamatan. Namun, perbedaan antara korelasi dan sebab-akibat tidak selalu dibuat dengan jelas, dan hanya pada abad ke-20 upaya keras untuk menarik kesimpulan sebab akibat dari data yang diamati mulai berkembang dengan sungguh-sungguh. Berbagai model dan metode telah dibuat untuk membuat kesimpulan kausal menjadi mungkin - untuk menyimpulkan, berdasarkan efek yang diamati, kemungkinan penyebab suatu peristiwa.

Tiga pendekatan berbeda untuk inferensial kausal berawal pada tahun 1920-an. Dalam sebuah makalah tahun 1921 berjudul " Korelasi dan Sebab-akibat ," yang diterbitkan dalam Journal of Agricultural Research , ahli genetika Amerika Sewall Wright memperkenalkan metode yang dikenal sebagai "analisis jalur." Dalam sistem kompleks yang melibatkan banyak faktor berkorelasi yang tak terkendali dan mungkin tidak diketahui - misalnya ketika mempelajari berat dan kesehatan hewan yang baru lahir - metode ini mencoba mengukur pengaruh langsung dari masing-masing korelasi dan, seperti yang dijelaskan Wright, untuk menemukan "sejauh mana variasi efek yang diberikan ditentukan oleh masing-masing penyebab tertentu." untuk melakukan ini, diagram variabel yang dihubungkan oleh panah dibuat, menunjukkan berbagai korelasi dalam sistem. (Lihat Gambar 1.) Berdasarkan diagram ini dan korelasi yang diamati antara variabel, sistem persamaan dapat dibangun. Persamaan kemudian diselesaikan untuk "koefisien jalur," yang mewakili efek langsung dari variabel satu sama lain.

Generalisasi analisis jalur yang dikenal sebagai "pemodelan persamaan struktural" kemudian dikembangkan. Salah satu penerapan metode ini adalah dalam mempelajari mediasi, di mana suatu variabel terletak pada jalur antara sebab dan akibat. Misalnya, stres dapat menyebabkan depresi, tetapi stres dapat menyebabkan perenungan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan depresi. Perenungan dengan demikian merupakan mediator dari efek sebab akibat dari stres pada depresi. Kita kemudian mungkin bertanya-tanya berapa banyak efek stres pada depresi dimediasi oleh perenungan - yaitu, seberapa besar efeknya pada jalur tidak langsung antara stres dan depresi (melalui perenungan), dibandingkan dengan jalur langsung . Jawabannya dapat membantu untuk menentukan apakah intervensi yang menargetkan perenungan mungkin lebih efektif dalam mengurangi depresi daripada intervensi yang menargetkan stres.

Pendekatan kedua untuk inferensial kausal berawal pada tahun 1923, dengan sebuah makalah oleh ahli statistik Polandia Jerzy Neyman memperkenalkan akun kontrafaktual awal kausalitas dalam eksperimen pertanian. Metode-metodenya terbatas pada eksperimen tetapi diperluas oleh ahli statistik Harvard Donald Rubin pada 1970-an untuk penelitian observasional. Model sebab-akibat Rubin didasarkan pada gagasan "hasil potensial" - pada dasarnya kontrafaktual.

Contoh akan membantu mengilustrasikan kembali masalah dengan sebab-akibat dalam studi observasional yang telah kita diskusikan. Pertimbangkan pasien yang menerima pengobatan A atau B, dan bisa sembuh atau tidak. Untuk setiap pasien ada hasil untuk pengobatan A dan hasil untuk pengobatan B, tetapi hanya satu dari hasil ini yang benar-benar diamati dan yang lainnya hanya potensial.

Efek kausal untuk pasien individu adalah perbedaan antara dua hasil ini - sembuh atau tidak sembuh tergantung pada perawatan. Tetapi karena tidak mungkin untuk mengamati kedua dari dua hasil potensial - yaitu, pasien yang diberikan tidak dapat menerima pengobatan sekaligus tidak menerimanya pada saat yang sama - efek sebab-akibat bagi seorang individu tidak dapat diperkirakan. Ini disebut "masalah mendasar dari inferensi kausal," dan di hadapannya ini tampaknya akan menjadi hambatan yang tidak dapat diatasi. Namun, sementara tidak mungkin untuk memperkirakan efek kausal individu, dimungkinkan - asalkan asumsi tertentu berlaku - untuk mengukur efek kausal rata-rata di sejumlah pasien.

Jika pasien yang bersangkutan didaftarkan dalam uji coba terkontrol secara acak yang berjalan tanpa hambatan (misalnya, tidak ada pasien yang keluar), maka asumsi yang diperlukan mudah dipenuhi. Seperti dibahas sebelumnya, hasil dari pasien dalam dua kelompok pengobatan dapat berfungsi sebagai hasil potensial pengganti.

Tetapi anggaplah pasien tidak secara acak ditugaskan ke kelompok pengobatan, dan ini bukan penelitian observasional. Tidak seperti dalam RCT, di mana pasien dalam dua kelompok cenderung sangat mirip, dalam penelitian observasional mungkin ada ketidakseimbangan substansial (dalam usia, jenis kelamin, kekayaan, dll.) Antara kelompok. Ada beberapa cara untuk mengatasi masalah ini menggunakan kerangka kerja Rubin. Kadang-kadang ketidakseimbangan antar kelompok dapat diatasi dengan menggunakan teknik pencocokan yang memastikan kedua kelompok hampir sama. Metode terkait dan lebih kompleks adalah memperkirakan, untuk setiap pasien, probabilitas pasien akan menerima misalnya pengobatan A, mengingat karakteristik pasien. Perkiraan ini dikenal sebagai "skor kecenderungan," pertama kali dibahas dalam makalah 1983 yang ditulis bersama Rubin .

Pasien yang menerima pengobatan B kemudian dapat dicocokkan dengan pasien yang menerima pengobatan A tetapi yang memiliki skor kecenderungan yang sama. Ini memberikan skema umum untuk mendapatkan kontrafaktual pengganti yang memungkinkan penarikan kesimpulan kausal. Namun, peringatan penting adalah ini hanya berfungsi jika semua variabel yang relevan - yang semuanya bisa menjadi pembaur - tersedia. Misalnya, hubungan antara iklan alkohol dan perilaku minum remaja dapat dikacaukan oleh faktor-faktor yang tidak terukur seperti sejarah keluarga dan pengaruh teman sebaya.

Pendekatan ketiga untuk inferensi kausal, yang dikenal sebagai "analisis variabel instrumental," diperkenalkan oleh ekonom Philip Wright (ayah dari Sewall Wright) dalam bukunya tahun 1928 The Tariff on Animal and Vegetable Oils . Metodenya telah banyak digunakan di bidang ekonometrik, tetapi baru-baru ini telah diterapkan di bidang lain. Dalam satu penerapannya dalam studi 1994 , efektivitas mengobati serangan jantung menggunakan teknik medis yang agresif (kateterisasi dan revaskularisasi) dievaluasi berdasarkan data pengamatan dari sekelompok penerima Medicare. Mereka yang dirawat secara agresif memiliki angka kematian jauh lebih rendah daripada mereka yang tidak. Sangat mudah untuk menyimpulkan pengobatan agresif mengurangi angka kematian. Namun, seperti yang dijelaskan dalam penelitian ini, pasien yang dirawat secara agresif berbeda dari yang lain dalam banyak hal - misalnya, mereka lebih muda. Dan mereka mungkin berbeda dalam cara-cara yang tidak diukur, seperti tingkat keparahan serangan jantung mereka.

Risikonya adalah - setelah variabel yang diukur seperti usia disesuaikan, dengan menggunakan teknik seperti mencocokkan - variabel yang tidak diukur masih bisa secara substansial membiaskan hasil. Jika pasien secara acak menerima perawatan yang berbeda, akan lebih mudah untuk memperkirakan efek kausal dari perawatan agresif. Tetapi anggaplah variabel dapat diidentifikasi yang berkorelasi dengan jenis perawatan yang diterima (agresif atau tidak agresif), tidak secara langsung mempengaruhi hasil, dan tidak mungkin berkorelasi dengan variabel pengganggu. "Variabel instrumental" seperti itu dapat digunakan untuk membentuk kelompok pasien sedemikian rupa sehingga karakteristik pasien serupa di antara kelompok-kelompok, kecuali kemungkinan menerima pengobatan yang dipertanyakan bervariasi di antara kelompok-kelompok.

Dengan cara ini, variabel instrumental dapat dianggap sebagai semacam pengacak alami. Dalam studi serangan jantung, pasien yang tinggal lebih dekat ke rumah sakit yang menawarkan perawatan agresif lebih mungkin untuk menerima perawatan tersebut. Para penulis penelitian menyadari variabel instrumental dapat didasarkan pada jarak pasien ke rumah sakit seperti itu dibandingkan dengan jarak ke rumah sakit terdekat . Variabel ini tidak akan diharapkan untuk mempengaruhi kematian kecuali melalui jenis perawatan yang diterima, tidak akan mempengaruhi variabel perancu lainnya.

Asumsi-asumsi ini valid, pendekatan variabel instrumental dapat mengatasi perancu yang tidak terukur untuk memungkinkan ditariknya kesimpulan kausal. Dalam kasus ini, analisis variabel instrumental menunjukkan pengobatan agresif memiliki efek menurunkan angka kematian hanya pada tingkat yang sangat kecil, sangat kontras dengan perkiraan menggunakan metode statistik yang lebih konvensional. Jauh lebih penting untuk menurunkan angka kematian, penelitian ini menjelaskan, adalah pasien menerima perawatan dalam waktu dua puluh empat jam masuk ke rumah sakit.

Aplikasi lain dari pendekatan variabel instrumental adalah cacatnya uji coba terkontrol secara acak. Pertimbangkan RCT suatu obat dalam bentuk pil dengan pil tidak aktif (plasebo) yang digunakan sebagai kontrol. Jika penelitian semacam itu dilakukan dengan sempurna, itu memberikan dasar terbaik untuk menarik kesimpulan tentang apakah obat mempengaruhi hasil pasien. Masalahnya adalah beberapa RCT ditarik tanpa hambatan.

Masalah umum termasuk pasien yang keluar atau tidak menggunakan semua pil mereka, yang dapat menyebabkan bias pada hasilnya. Tetapi bahkan dengan bias ini penugasan acak baik untuk pil aktif atau plasebo dapat digunakan sebagai variabel instrumental yang memprediksi pengobatan yang sebenarnya diterima. Asalkan asumsi yang diperlukan berlaku, analisis variabel instrumental dapat digunakan untuk memberikan perkiraan efek obat yang valid. Dengan demikian bahkan dalam pengaturan eksperimental, mungkin perlu untuk menerapkan metode inferensial kausal yang dikembangkan untuk studi observasional.

Semenarik pendekatan variabel instrumental, itu bukan obat mujarab. Beberapa asumsi kunci yang diperlukan tidak dapat diuji, dan bias serius dapat muncul jika dilanggar. Namun terlepas dari keterbatasannya, pendekatan variabel instrumental masih bisa menjadi alat yang kuat untuk inferensi kausal.