

Biostatystyka

Krzysztof Safranow

Samodzielna Pracownia Biostatystyki PUM

Prawdopodobieństwo

- P : prawdopodobieństwo
- Z : zdarzenie
- $P(Z)$: prawdopodobieństwo, że zdarzenie Z wystąpiło lub wystąpi

Interpretacja wartości $P(Z)$:

- $P(Z) = 0$: zdarzenie Z **na pewno nie** wystąpiło / **nie** wystąpi
- $P(Z) = 1$: zdarzenie Z **na pewno** wystąpiło / **wystąpi**
- $0 < P(Z) < 1$: **niepewność** czy zdarzenie Z wystąpiło / **wystąpi** czy **nie**

Czym jest statystyka?

Dziedzina wiedzy o radzeniu sobie w sposób naukowo ścisły z:

- niepewnością
- niejednorodnością
- zmiennością

Czym się zajmuje statystyka?

1. Opis cech populacji

- **syntetyczny** opis zróżnicowanej populacji przedstawiający jej najistotniejsze cechy za pomocą **ograniczonej liczby** odpowiednio dobranych parametrów
- pozwala **uniknąć** opisywania populacji poprzez opis każdego z jej **elementów z osobna**
- następuje „**kompresja danych**”, które w syntetycznej, opisowej formie są **łatwiejsze** do dalszej **intuicyjnej i matematycznej analizy**

2. Wnioskowanie statystyczne o cechach populacji na podstawie cech próby z populacji

- jak można **rzetelnie opisać** cechy całej populacji gdy znane są tylko cechy **ograniczonej próby** z tej populacji?

Co jest **praktycznym efektem** analizy statystycznej?

- Syntetyczny **opis** rzeczywistości – statystyka opisowa
 - **Poprawne i zrozumiałe** przedstawienie analizowanych parametrów (tekst, tabele, ryciny)
- **Uogólnianie** obserwacji z badanej próby na populację
 - Czy zależność obserwowana w badanej próbie z populacji jest **regułą** czy **wyjątkiem**? Czy można przypisać ją całej populacji?
 - Jeśli tak – związek jest **istotny statystycznie**
- Ocena **prawdopodobieństwa błędu** przy uogólnianiu
 - Im **mniej** próba z populacji tym **większe ryzyko** błędu

Co wyróżnia **biostatystykę**?

- Musi uwzględniać ogromną **heterogenność** i **zmiennność** **żywych** obiektów badań medycyny i biologii medycznej:
 - komórek
 - zwierząt
 - ludzi
- Analiza musi być dostosowana do projektu badań uwzględniającego względy **bioetyczne**, **psychologiczne**, **socjalne**, **logistyczne** w badaniach ludzi i zwierząt

Do czego może się przydać biostatystyka lekarzowi?

- Umiejętność pełnego zrozumienia opracowań statystycznych i poprawnej interpretacji wyników badań opublikowanych w czasopiśmie naukowych
- Poznanie zasad tworzenia standardów medycznych w oparciu o analizę statystyczną dowodów naukowych – evidence-based medicine (EBM)
- Krytyczna ocena i porównanie skuteczności metod diagnostycznych i terapeutycznych w oparciu o doniesienia naukowe dla wyboru optymalnego postępowania
- Planowanie i prowadzenie własnych projektów badawczych
- Publikowanie własnych wyników badań

Kiedy brak wiedzy lekarza dotyczącej podstaw statystyki może zaszkodzić pacjentowi?

- Niewłaściwe zrozumienie wyników **prac naukowych** dotyczących zagadnień klinicznych
- Wyciąganie niewłaściwych wniosków z **własnych sukcesów i porażek** klinicznych
- Podatność na **reklamę leków** niekoniecznie optymalnych w danej sytuacji klinicznej
- Podatność na **manipulacje i fałszywe informacje** dotyczące skuteczności lub nieskuteczności leczenia
- Nieumiejętność **przekazania pacjentowi rzetelnej wiedzy** o charakterze związku między czynnikami ryzyka a zachorowaniem

Czy jednostka (organizm) może być populacją?

- Organizm wielokomórkowy składa się z ogromnej liczby komórek o różnych funkcjach
- Nawet komórki o tej samej funkcji różnią się od siebie
- Aby opisać wielkość erytrocytów krążących we krwi musimy podać statystyczne miary **położenia** (MCV – mean corpuscular volume) i **rozproszenia** (RDW – red cell distribution width):
 - MCV poniżej normy: mikrocytoza
 - MCV powyżej normy: makrocytoza
 - RDW powyżej normy: anizocytoza

Czy jednorazowy pomiar cechy organizmu jest wystarczający?

- Jednorazowy pomiar ciśnienia tętniczego np. 120/80 mmHg może nie odzwierciedlać krótko- i długoterminowych zmian
- 24-godzinne automatyczne monitorowanie ciśnienia tętniczego dostarcza znacznie więcej informacji o prawidłowości funkcjonowania fizjologicznych mechanizmów regulacyjnych
- Aby opisać zmienność ciśnienia tętniczego w ciągu doby podajemy statystyczne miary położenia np. średnie wartości w ciągu dnia i nocy, oraz różnicę między tymi średnimi odzwierciedlającą fizjologiczny spadek w nocy

Dlaczego chcąc poznać cechy całej populacji badamy tylko wybraną z niej losową próbę?

- **Logistyka:** niemożliwość przeprowadzenia badań dużej liczby osób:
 - w rozsądnym czasie
 - rozsądnym kosztem
- **Bezpieczeństwo:** narażenie na ewentualne objawy niepożądane testowanych leków ograniczonej liczby ochotników

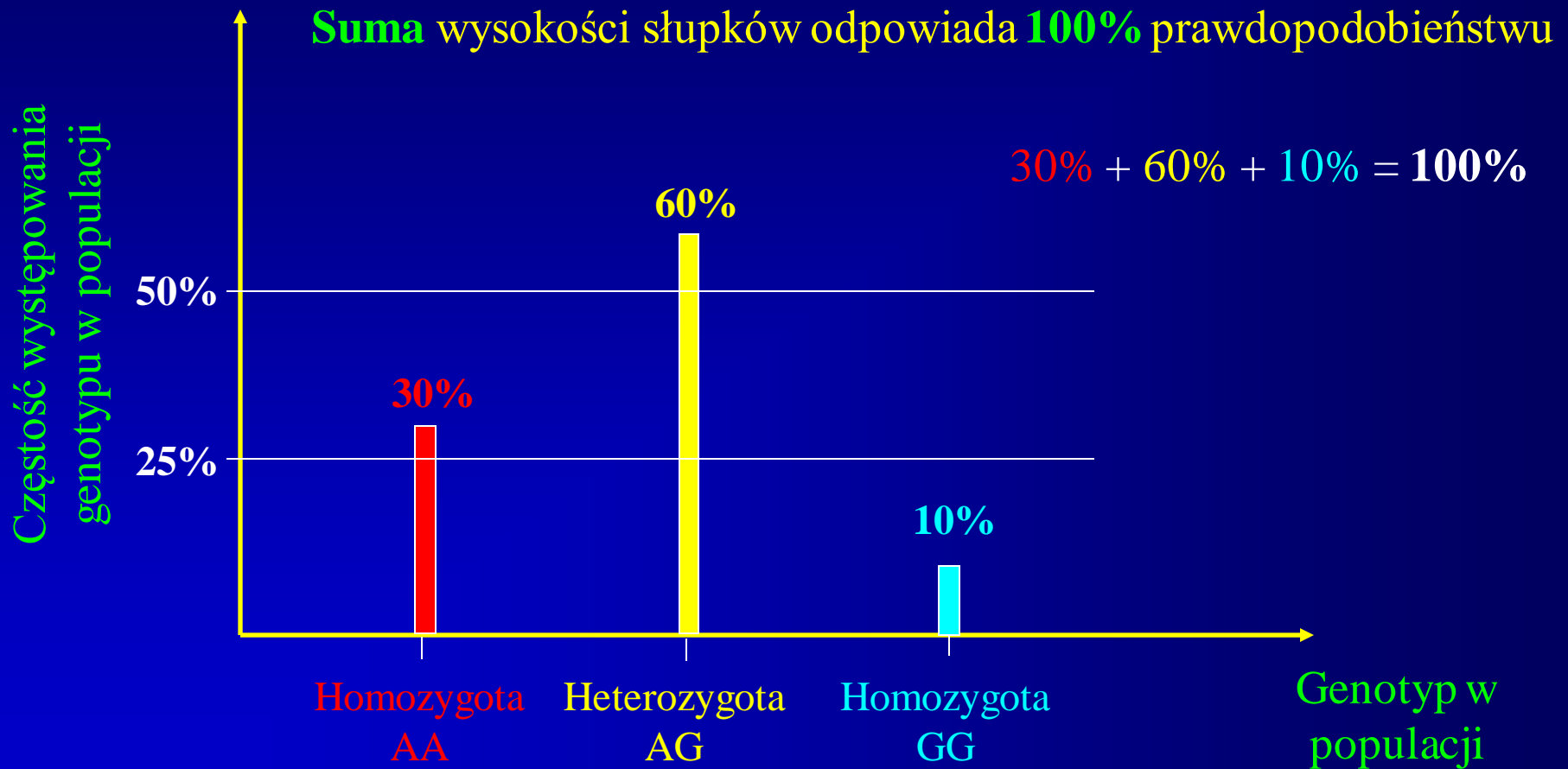
Na ile rzetelnie można ocenić cechy całej populacji na podstawie analizy cech wybranej z niej losowej próby?

- Estymacja (ocena, szacowanie) cech populacji może być wykonana tylko z określoną precyzją, ograniczoną losowymi odchyleniami cech próby od cech populacji
 - Kolejne próby pobierane z tej samej populacji różnią się od siebie losowo
- Precyzja estymacji jest tym większa, im:
 - mniejsza jest zmienność danej cechy w populacji
 - większa jest liczebność próby z populacji

Jak opisać ograniczoną precyzję estymacji cechy w populacji?

- Wnioskowanie statystyczne pozwala określić z jakim **prawdopodobieństwem** cecha w populacji może przyjąć określoną wartość
- Cecha populacji nie może więc być opisana dokładną, pojedynczą wartością, ale **rozkładem prawdopodobieństwa**
- **Najbardziej prawdopodobne** w populacji są wartości cechy **bliskie jej wartościom w próbie**
- **Im dalej od wartości cechy w próbie odbiega** możliwa wartość cechy w populacji, **tym jej prawdopodobieństwo jest mniejsze**
- Szacowany zakres wartości w którym cecha populacji mieści się z określonym prawdopodobieństwem nazywamy **przedziałem ufności**

Jak interpretować dyskretny rozkład prawdopodobieństwa?



Jak interpretować ciągły rozkład prawdopodobieństwa?

Prawdopodobieństwo przyjęcia przez cechę określonego zakresu wartości jest proporcjonalne do **poła powierzchni pod krzywą rozkładu prawdopodobieństwa** dla tego zakresu wartości

Całkowite pole powierzchni pod krzywą odpowiada **100%** prawdopodobieństwu

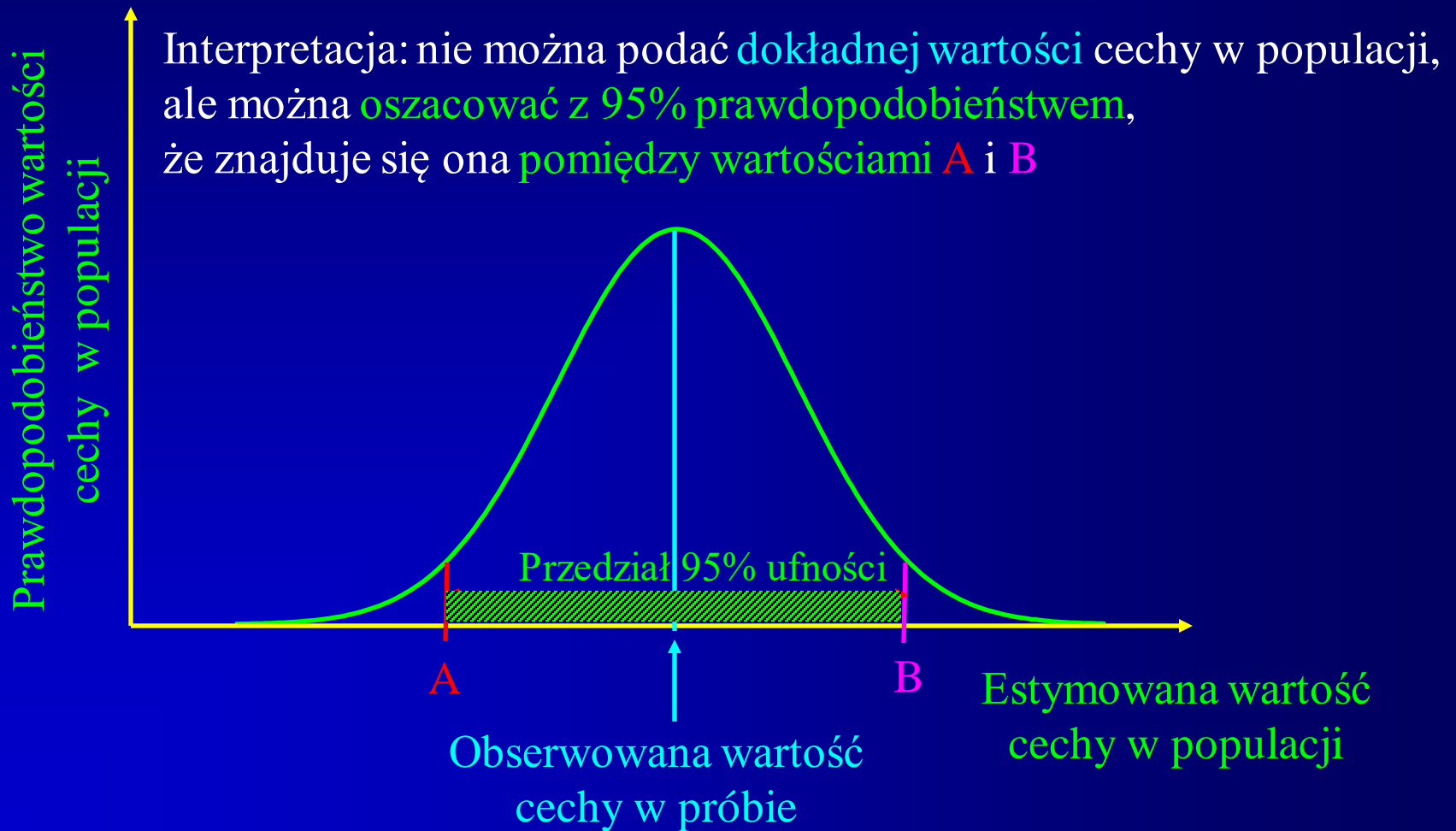


Prawdopodobieństwo że wartość cechy jest mniejsza niż A wynosi 0,5 (50%)

Prawdopodobieństwo że wartość cechy jest pomiędzy A i B wynosi 0,45 (45%)

Prawdopodobieństwo że wartość cechy jest większa niż B wynosi 0,05 (5%)

Rozkład prawdopodobieństwa estymowanej wartości cechy w populacji jako funkcja obserwowanej wartości cechy w próbie z populacji



Rodzaje zmiennych

- Mierzalne (ilościowe)
 - Są wyrażone w jednostkach na pewnej skali
 - Wiek, wzrost, średnica guza – ciągłe
 - Liczba reoperacji, jednostki KKCz - nieciągłe
- Porządkowe (rangowe)
 - Umożliwiają uszeregowanie na skali mniej-bardziej
 - Wykształcenie – podstawowe, zawodowe, średnie, wyższe
 - Skale półilościowe: (-), (+), (++) , (+++) , (++++)
 - Stopień zaawansowania: I^o, II^o, III^o, IV^o
- Nominalne (jakościowe, niemierzalne)
 - Nie można uszeregować w rozsądnej kolejności
 - Grupa krwi – 0, A, B, AB – 4 poziomy
 - Rh – (+), (-) – 2 poziomy – zmienna dychotomiczna



Ilość informacji / zmienną

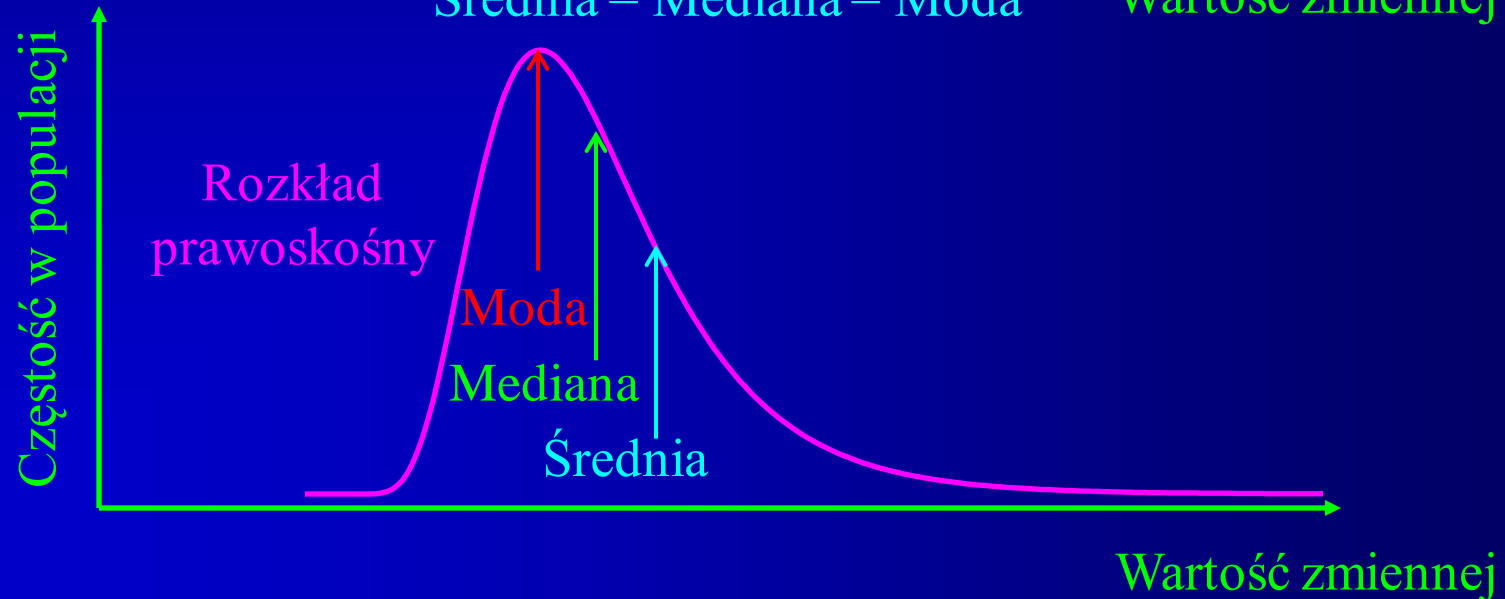
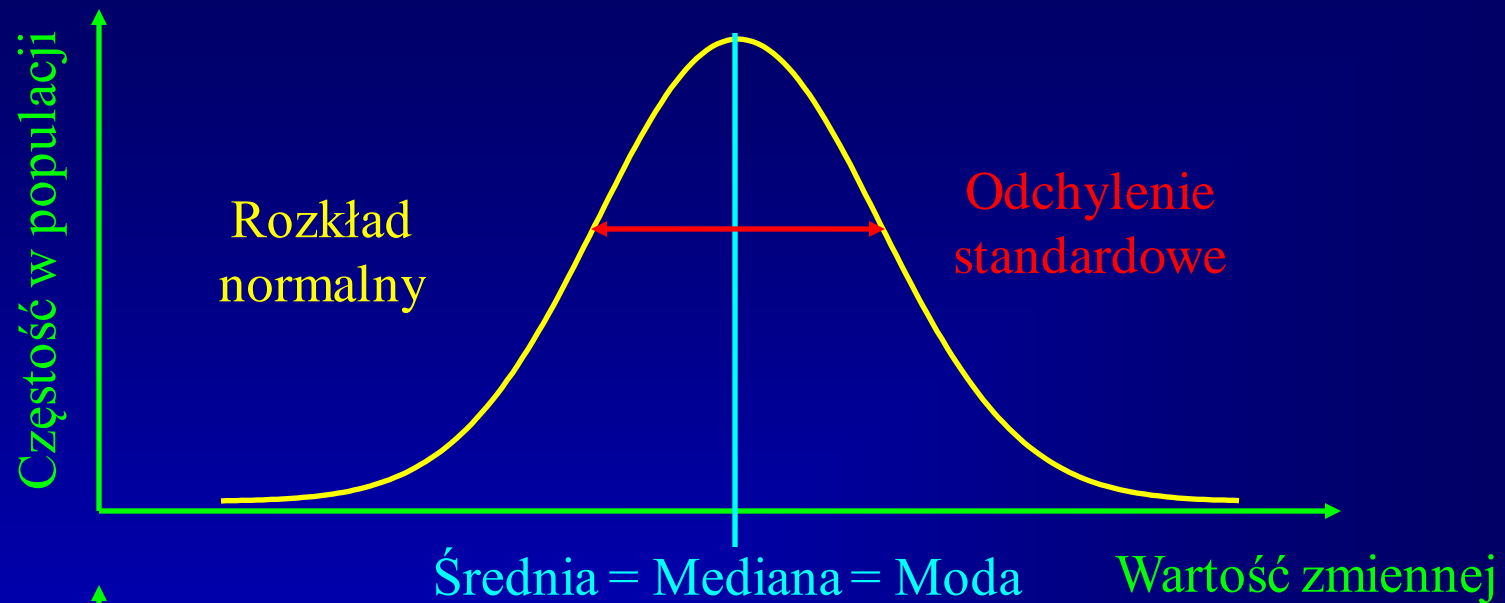
Jak przedstawiać wartości nominalne?

- Liczebność dla każdej wartości (n) i odsetek (%) w odniesieniu do wszystkich wyników (N)
- Jeśli w badanej grupie 100 pacjentów badanie MRI wykonano u 80, a wśród nich u 10 wynik był nieprawidłowy (**NP**) a u 70 prawidłowy (**P**) to:
 - Uwzględniając braki danych (BD)
 - **10/100 (10%) NP**, **70/100 (70%) P**, 20/100 (20%) BD
 - Nie uwzględniając braków danych
 - 20/100 (20%) BD
 - Spośród pacjentów z dostępnymi danymi:
 - **10/80 (12,5%) NP**, **70/80 (87,5%) P**

Jak przedstawiać wartości porządkowe?

- Jeśli oznaczone kolejnymi stopniami (I°, II°, III°, IV° lub -, +/-, +, ++, +++, +++++ można przedstawiać jak zmienne mierzalne (- = 0, +/- = 1, + = 2, ++ = 3 itd.) obliczając np. medianę.

Rozkład prawdopodobieństwa zmiennych mierzalnych



Jak przedstawiać wartości mierzalne?

Miary położenia

- Średnia arytmetyczna
 - Optymalna miara, gdy rozkład ma charakter normalny
 - Gdy rozkład odbiega od normalnego – na jej wartość silnie wpływają pojedyncze obserwacje odbiegające od innych
- Mediana
 - Wartość od której połowa pomiarów jest wyższa, a połowa niższa
 - Dla rozkładu normalnego jest równa średniej
 - Im bardziej rozkład jest asymetryczny tym bardziej odbiega od średniej
 - Optymalna miara, gdy rozkład znacznie odbiega od normalnego
- Moda
 - Wartość pomiaru występująca najczęściej – maksimum rozkładu prawdopodobieństwa
 - Jest mało przydatna w biostatystyce gdyż wykazuje dużą wrażliwość na przypadkowe odchylenia rozkładu próby od rozkładu populacji

Jak przedstawiać wartości mierzalne?

Miary rozproszenia

- Odchylenie standardowe (SD)
 - Optymalna miara rozproszenia, gdy rozkład ma charakter normalny

- Rozstęp kwartyłowy (IQR, $Q3-Q1$)
 - Zawiera się w nim 50% „środkowych” pomiarów wokół mediany
 - Dla rozkładu normalnego jest równy $1,35 \times SD$
 - Optymalna miara rozproszenia, gdy rozkład znacznie odbiega od normalnego

Czym się różni SD od SE ?

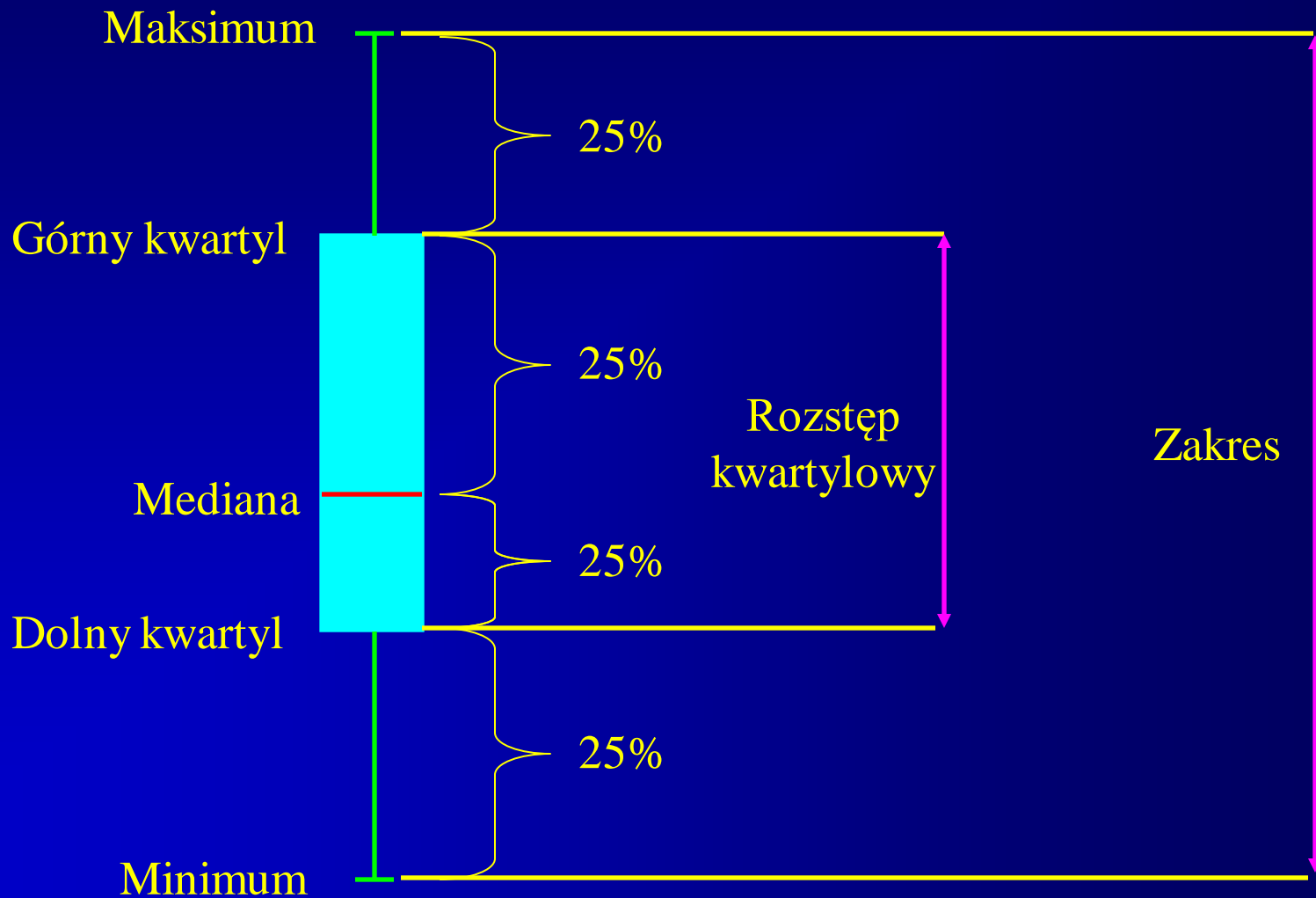
SD – standard deviation – odchylenie standardowe

SE – standard error – błąd standardowy

- Właściwą miarą rozproszenia wyników jest **SD**
- SE jest miarą **niepewności** i może służyć do oszacowania przedziału ufności dla średniej
 - 95%CI dla średniej w całej populacji zawiera się w zakresie od **Średnia – 2 × SE** do **Średnia + 2 × SE**
- Wartość SE nie jest miarą rozproszenia, gdyż w przeciwieństwie do SD **zależy od liczebności** grupy (N)

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

Jak przedstawiać wartości mierzone gdy rozkład odbiega od normalnego?



Zmienne powiązane i niepowiązane

➤ Zmienne (próby, pomiary) powiązane

- Pomiary wartości parametru wykonane u tych samych pacjentów, ale
 - w różnym miejscu (np. strona lewa – prawa)
 - w różnym czasie (np. przed – po leczeniu)
 - różnymi metodami
- Każdy pacjent jest sam dla siebie kontrolą
 - niweluje to różnice międzyosobnicze
 - zostaną wykryte niewielkie zmiany, jeśli są obecne u wielu pacjentów
- **Błędem** jest traktowanie ich jak zmiennych niepowiązanych
- Czynnikiem wiążącym zmienne jest pacjent
- **Nie wolno** „oddzielać” zmiennych powiązanych od pacjenta

➤ Zmienne niepowiązane

- Pomiary wartości parametru w różnych grupach pacjentów

Miary wielkości efektu

- Stosowane dla ilościowego scharakteryzowania różnic lub stosunków wartości:
 - cech porównywanych pomiędzy populacjami (zmiennie niepowiązane)
lub
 - kolejnych pomiarów cech wewnątrz populacji (zmiennie powiązane)
- Jeśli porównywane populacje lub pomiary różnią się działaniem określonego czynnika np.
 - jedna populacja otrzymuje lek, a druga placebo
 - pierwszy pomiar wykonano przed, a drugi po podaniu leku
to otrzymane różnice odzwierciedlają efekt działania tego czynnika
- Im większa wartość bezwzględna różnicy tym większy efekt
- Znak różnicy odzwierciedla kierunek efektu; lek ma efekt zwiększający wartość cechy gdy dodatni jest znak różnicy między :
 - grupą otrzymującą lek a grupą placebo (lek – placebo)
 - pomiarem wykonanym po a pomiarem przed podaniem leku (po – przed)

Efekt a związek

- Pojęcie „efektu” jest równoważne pojęciu „związku statystycznego”, co jednak **nie dowodzi** istnienia związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy działaniem badanego czynnika a różnicą wartości mierzonego parametru pomiędzy populacjami lub pomiarami
- O tym że związek **statystyczny** jest związkiem **przyczynowo-skutkowym** może zapewnić dopiero właściwa interpretacja całości wyników prawidłowo zaprojektowanego i przeprowadzonego badania naukowego, lub serii takich badań wykonanych różnymi metodami
- Niektóre rodzaje badań (np. kliniczno-kontrolne) z natury **nie mogą** dostarczyć pewnych dowodów na to, że stwierdzony związek **statystyczny** jest związkiem **przyczynowo-skutkowym**
- Poprawna ocena charakteru związku (mechanizmów odpowiedzialnych za powstanie obserwowanego efektu) wymaga zastosowania **poprawnej metodologii naukowej**, w której analiza statystyczna stanowi ważną, ale niejedyną część

Miary wielkości efektu

- Dla zmiennych mierzalnych najprostszą i praktyczną miarą efektu jest:
 - **różnica arytmetyczna średnich** w porównywanych grupach (dla zmiennych **niepowiązanych**) np. różnica średnich glikemii pomiędzy grupą przyjmującą a nieprzyjmującą leku hipoglikemizującego
 - **średnia arytmetyczna różnic** (dla zmiennych **powiązanych**) np. średnia różnica glikemii po – przed zastosowaniem leku hipoglikemizującego
- W przypadku rozkładów zmiennych mierzalnych **odbiegających od rozkładu normalnego** można zastosować jako miarę efektu odpowiednio **różnicę median** (dla zmiennych **niepowiązanych**) oraz **medianę różnic** (dla zmiennych **powiązanych**)
- Dla zmiennych **dychotomicznych niepowiązanych** najczęściej stosowanymi miarami efektu są **iloraz szans (odds ratio – OR)** oraz **ryzyko względne (relative risk – RR)**

Iloraz szans (OR – odds ratio)

- Szansa jest to stosunek prawdopodobieństwa, że jakieś zdarzenie wystąpi, do prawdopodobieństwa, że to zdarzenie nie wystąpi.
- Iloraz szans wystąpienia zdarzenia w grupach A i B (A vs B) definiujemy jako stosunek szansy wystąpienia zdarzenia w grupie A do szansy wystąpienia zdarzenia w grupie B
- $OR = 1$ oznacza równowagę szansy zdarzenia w porównywanych grupach
- $OR (A \text{ vs } B) = 1/OR (B \text{ vs } A)$
- $OR (\text{wystąpienie zdarzenia}) = 1/OR (\text{niewystąpienie zdarzenia})$
- Iloraz szans pokazuje, jak zmieniłaby się szansa danego zdarzenia przy hipotetycznej zmianie przynależności do grupy:
 - $OR = 0.80$ dla M vs K: szansa zdarzenia jest o 20% mniejsza u M niż u K

Obliczanie OR

Wpływ terapii A i B na przeżycie pacjentów

	Przeżyli	Zmarli
Terapia A	0,8	0,2
Terapia B	0,9	0,1

$$0,2 \times 0,9 = 0,18$$

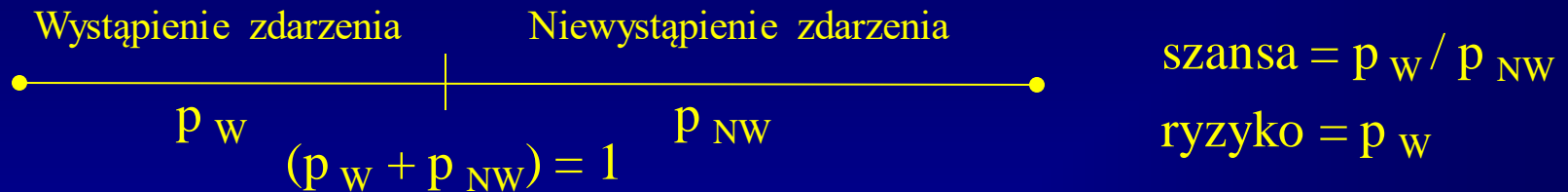
$$0,8 \times 0,1 = 0,08$$

$$OR_{A \text{ vs } B} \text{ dla przeżycia vs zgonu} = 0,08 / 0,18 = 0,44$$

$$OR_{A \text{ vs } B} \text{ dla zgonu vs przeżycia} = 0,18 / 0,08 = 2,25$$

Ryzyko względne (RR – relative risk)

- Ryzyko jest to prawdopodobieństwo, że jakieś zdarzenie wystąpi



- Ryzyko względne wystąpienia zdarzenia w grupach **A** i **B** (**A** vs **B**) definiujemy jako stosunek ryzyka wystąpienia zdarzenia w grupie **A** do ryzyka wystąpienia zdarzenia w grupie **B**
- $RR = 1$ oznacza równoważność ryzyka zdarzenia w porównywanych grupach
- $RR (A \text{ vs } B) = 1/RR (B \text{ vs } A)$
- $RR (\text{wystąpienie zdarzenia}) \neq 1/RR (\text{niewystąpienie zdarzenia})$
- Ryzyko względne pokazuje, jak zmieniłoby się prawdopodobieństwo danego zdarzenia przy hipotetycznej zmianie przynależności do grupy
- Dla zdarzeń korzystnych można używać terminu:
korzyść względna (**RB** – relative benefit)

Obliczanie RR (RB)

Wpływ terapii A i B na przeżycie pacjentów

	Przeżyli	Zmarli
Terapia A	0,8	0,2
Terapia B	0,9	0,1

$$0,8 / 0,9 = 0,89$$

$$0,2 / 0,1 = 2,00$$

$RR_{A \text{ vs } B}$ dla zgonu = 2,00

$RB_{A \text{ vs } B}$ dla przeżycia = 0,89

Porównanie OR i RR

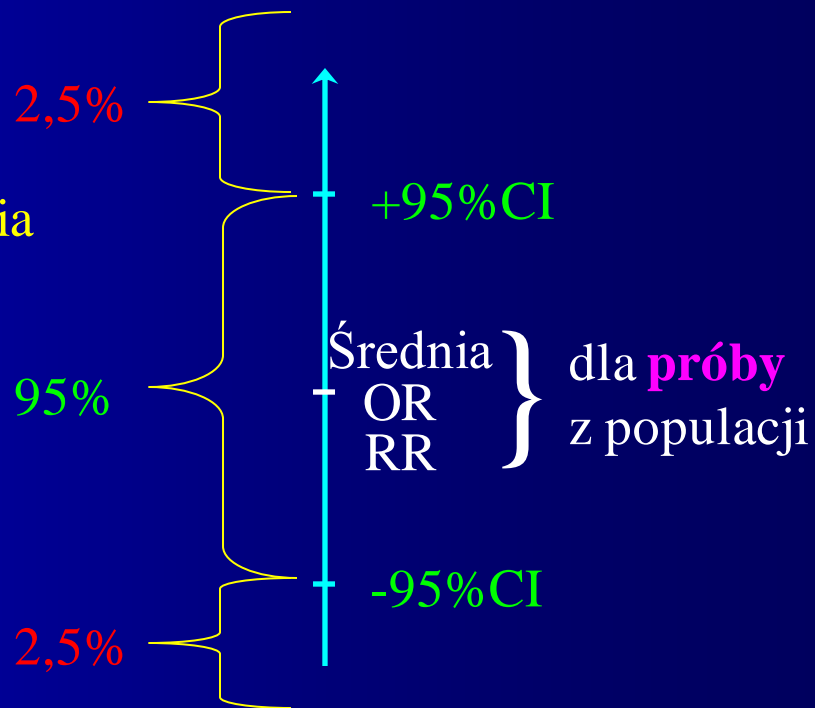
Wpływ terapii A i B na przeżycie pacjentów

Odsetek pacjentów, którzy:		OR _{A vs B}		RR _{A vs B}
Przeżyli	Zmarli	Przeżycie	Zgon	Zgon
A: 80% B: 90%	A: 20% B: 10%	0,44	2,25	2,00
A: 40% B: 70%	A: 60% B: 30%	0,29	3,50	2,00
A: 10% B: 20%	A: 90% B: 80%	0,44	2,25	1,13

$$RR_{A vs B} = OR_{A vs B} / [1 + p_B \times (OR_{A vs B} - 1)]$$

Czym jest przedział 95% ufności?

- Przedział 95% ufności (95% confidence interval – 95% CI) określa przedział, w którym z 95% prawdopodobieństwem zawiera się określona wartość (średnia, różnica średnich, ryzyko względne, iloraz szans) dla całej populacji
- Wartość 95% to **poziom ufności** jaki mamy, że wartość w całej populacji zawiera się w określonym przedziale
- Prawdopodobieństwo, że rzeczywista wartość w całej populacji jest **poza** zakresem 95% CI wynosi 5%
- Im większa próba z populacji tym węższy
- Im węższy tym większa precyzja szacowania



Testowanie hipotez statystycznych

- Obliczenie wartości miary efektu (różnice średnich lub median, OR, RR) umożliwia łatwe określenie kierunku i wielkości efektu w próbie z populacji

ale

- dopiero gdy można z dużym prawdopodobieństwem uogólnić ten efekt na całą populację staje się on istotny statystycznie

Testowanie hipotez statystycznych

- Najważniejszą **hipotezę** dotyczącą wyciągania wniosków na temat **miary efektu** w całej populacji na podstawie próby z populacji określa pytanie:

Czy jest możliwe że **efekt obserwowany w próbie** jest jedynie dziełem przypadku i **nie istnieje w całej populacji**?

- Odpowiednią hipotezę nazywamy **hipotezą zerową** (H_0) i można ją sformułować na wiele równoważnych sposobów:

H_0 : Efekt **nie istnieje** w całej populacji, lub

H_0 : Efekt w całej populacji jest **zerowy**, lub

H_0 : **Przedział ufności** dla wielkości efektu w całej populacji obejmuje wartość odpowiadającą **brakowi efektu**

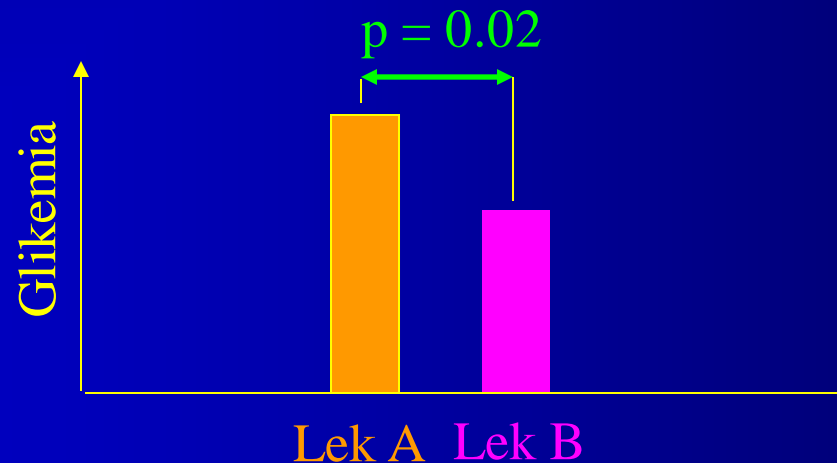
Testowanie hipotez statystycznych

- Odrzucenie H_0 w wyniku analizy statystycznej jest równoważne stwierdzeniu, że przedział ufności dla wielkości efektu w całej populacji **nie obejmuje** wartości odpowiadającej **brakowi efektu**, a więc z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że efekt obserwowany w **próbie** istnieje również w **całej populacji**
- Odrzucenie H_0 jest możliwe tylko z pewnym **prawdopodobieństwem popełnienia błędu** odzwierciedlonym przez wartość **p** określaną jako **istotność statystyczna**, która odpowiada **poziomowi ufności** zgodnie ze wzorem:
$$p = 1 - \text{poziom ufności}$$
- W biostatystyce standardowym poziomem ufności jest **95% (0,95)**, więc odpowiadająca mu standardowa wartość **poziomu istotności statystycznej** wynosi $p = 1 - 0,95 = \mathbf{0,05}$
- Odrzucenie H_0 **na poziomie istotności $p < 0,05$** jest więc równoważne stwierdzeniu, że **95% przedział ufności** dla wielkości efektu w całej populacji **nie obejmuje** wartości odpowiadającej **brakowi efektu**

Testowanie hipotez statystycznych

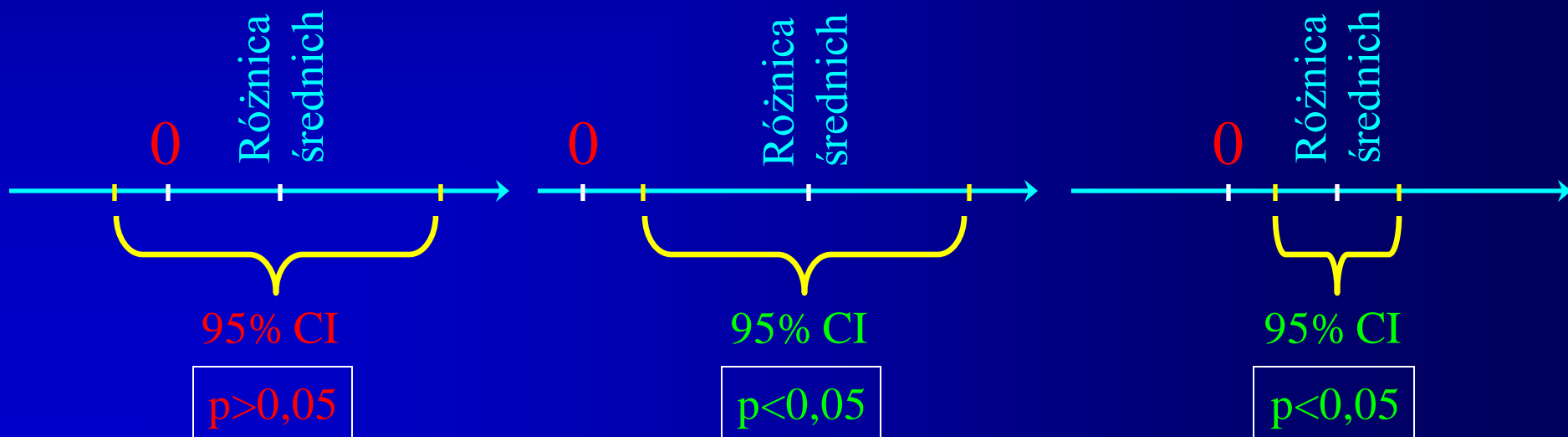
- Poziom istotności statystycznej odzwierciedla **ryzyko popełnienia błędu** polegającego na przyjęciu, że efekt w całej populacji jest **zgodny** z efektem obserwowanym w próbie z populacji, podczas gdy w rzeczywistości efekt ten **nie istnieje lub jest przeciwny** do obserwowanego w próbie z populacji
- Uogólnienie efektu obserwowanego w próbie na całą populację jest zawsze obarczone **ryzykiem błędu**, dlatego wnioski z analizy statystycznej formułujemy w sposób **probabilistyczny**, np.:

U pacjentów otrzymujących lek A glikemia jest wyższa niż u otrzymujących lek B na poziomie istotności statystycznej $p = 0.02$



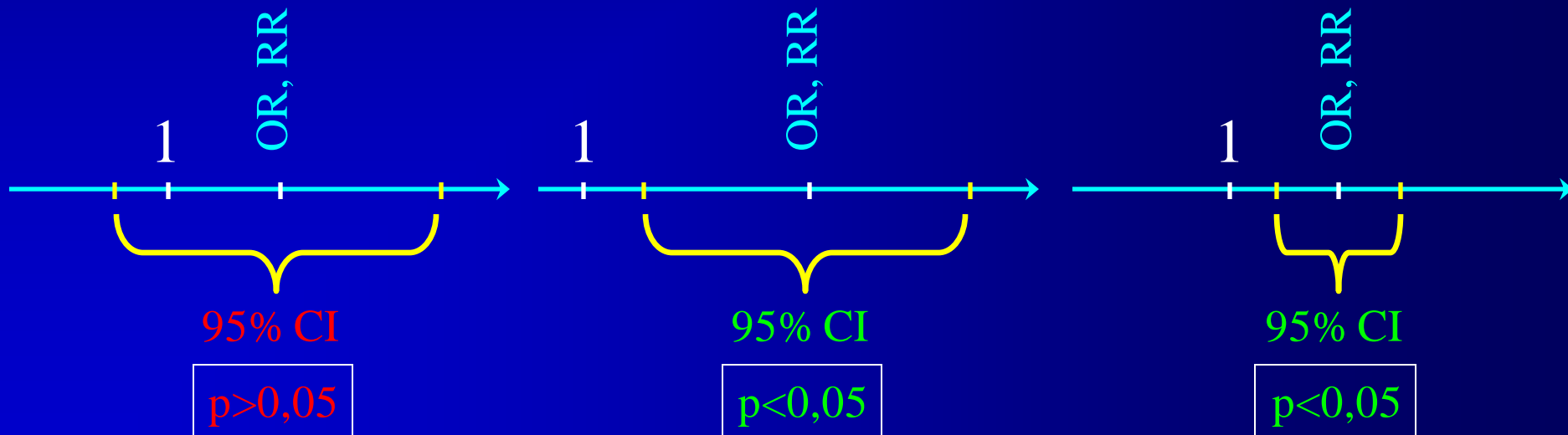
O czym informuje 95%CI dla różnicy średnich lub median?

- Wartość różnicy średnich lub median jako miara wielkości efektu dla parametrów porównywanych między grupami (np. otrzymująca lek – otrzymująca placebo) równa **zeru** odpowiada **brakowi efektu** (np. leku)
- Jeśli zakres 95%CI tej różnicy **obejmuje** wartość **0** – związek jest **nieistotny** statystycznie ($p > 0,05$)
- Jeśli zakres 95%CI tej różnicy **nie obejmuje** wartości **0** – związek jest **istotny** statystycznie ($p < 0,05$)



O czym informuje 95%CI dla OR i RR?

- Wartości wielkości efektu $OR=1$ oraz $HR=1$ odpowiadają brakowi efektu
- Jeśli zakres 95%CI OR lub RR obejmuje wartość 1 – związek jest nieistotny statystycznie ($p>0,05$)
- Jeśli zakres 95%CI OR lub RR nie obejmuje wartości 1 – związek jest istotny statystycznie ($p<0,05$)



Co oznacza $p < 0,05$?

- Określa istotność statystyczną związku między zmiennymi
 - Różnicy parametru między grupami pacjentów
 - Różnicy parametru zmierzonego u tych samych pacjentów, ale w różnym miejscu, czasie lub innymi metodami
 - Korelacji między różnymi parametrami tych samych pacjentów
- Oznacza, że gdyby określonego związku w rzeczywistości **nie było w całej populacji**, to za sprawą czystego przypadku pojawi się w próbie z populacji z prawdopodobieństwem **$< 5\%$**
- Przy zupełnym braku rzeczywistych zależności, **5% ($1/20$)** analizowanych, niezależnych od siebie związków, wykaże wartość **$p < 0,05$**

Co oznacza $p > 0,05$?

- Nie ma możliwości rozróżnienia, czy:
 - analizowany związek nie istnieje w populacji
 - analizowany związek istnieje w populacji, ale próba badana była zbyt mała
- Interpretacja przedziału ufności dla siły efektu:
 - Wąski → efekt (o ile istnieje) jest słaby
 - Szeroki → próba badana była zbyt mała, aby wykluczyć silny efekt

Dlaczego jako standardowy poziom istotności w biostatystyce przyjęto $p=0,05$?

- **Kompromis** między ryzykiem błędu polegającego na przyjęciu, że efekt w całej populacji jest zgodny z efektem obserwowanym w próbie z populacji, gdy w rzeczywistości taki efekt nie występuje (błąd I rodzaju), a ryzykiem błędu polegającego na przyjęciu, że brak jest wystarczających dowodów na obecność w całej populacji efektu zgodnego z efektem obserwowanym w próbie z populacji, gdy w rzeczywistości taki efekt występuje (błąd II rodzaju).
- **Kompromis** między poziomem wiarygodności wnioskowania statystycznego a liczebnością próby z populacji niezbędnej do uzyskania tego poziomu wiarygodności

Wybór testu statystycznego porównującego zmienne nominalne

Zmienne	Liczba grup	Test
Niepowiązane	2	Dokładny test Fishera Test χ^2
	>2	Test χ^2 Testy dokładne
Powiązane	2	Test McNemary
	>2	Test Cochрана

Wybór testu statystycznego porównującego zmienne mierzalne

Zmienne	Liczba grup	Test parametryczny	Test nieparametryczny
Niepowiązane	2	Test t-Studenta dla zmiennych niepowiązanych	Test U Manna-Whitneya
	>2	Jednoczynnikowa ANOVA	Test Kruskala-Wallisa
Powiązane	2	Test t-Studenta dla zmiennych powiązanych	Test kolejności par Wilcoxon
	>2	ANOVA dla powtarzanych pomiarów	Test Friedmana

Rozkład zmiennych mierzalnych

- Czy rozkład zmiennej w populacji jest zgodny z rozkładem normalnym?
 - Test Shapiro-Wilka:
 - $p < 0,05$: rozkład **istotnie odbiega** od normalnego
 - $p > 0,05$: rozkład **nie odbiega istotnie** od normalnego
 - Rozkład = normalny → testy **parametryczne**
 - Rozkład \neq normalny → testy **nieparametryczne**
 - **Błędem jest** stosowanie testów parametrycznych, gdy rozkład \neq normalny
 - **Nie jest błędem** stosowanie testów nieparametrycznych, gdy rozkład = normalny
 - Przy małej liczebności próby ($N < 20-30$) negatywny wynik testu dla niezgodności z rozkładem normalnym **nie dowodzi**, że rozkład jest normalny

Wybór testu statystycznego analizującego korelacje między zmiennymi mierzalnymi

- Korelacje można analizować tylko między parametrami zmierzonymi u tej samej osoby (lub innego obiektu badań)
- Test parametryczny: dla współczynnika korelacji liniowej Pearsona (r)
 - Rozkłady zmiennych zbliżone do normalnego
 - Zależność jest prostoliniowa
- Test nieparametryczny: dla współczynnika korelacji rang Spearmana (r_s)
 - Zależność może być nieliniowa, ale musi być monotoniczna (albo $\uparrow x \rightarrow \uparrow y$ albo $\uparrow x \rightarrow \downarrow y$ w całym zakresie wartości x i y)

Interpretacja współczynników korelacji

- Dla współczynników r i r_s interpretacja wartości jest podobna:
 - 0 – zupełny brak korelacji
 - 0-0,1 – korelacja śladowa
 - 0,1-0,3 – słaba
 - 0,3-0,5 – umiarkowana
 - 0,5-0,7 – silna
 - 0,7-0,9 – bardzo silna
 - 0,9-1 – prawie pełna
- Znak: (+) – pozytywna, (-) – negatywna
- Kwadrat współczynnika korelacji (R^2) określa, jaki odsetek zmienności jednej zmiennej jest wyjaśniony zmiennością drugiej:
 - $r(x,y) = +0,50 \rightarrow R^2 = 0,25$
 - 25% zmienności y jest wyjaśnione przez x
 - 75% zmienności y jest wyjaśnione przez inne czynniki