

Standardní chyba měření

PSYb2590: Základy psychometrie (Seminář 5)

22. 4. / 24. 4. 2024

$$r_{xx'} = \frac{\sigma_{\tau}^2}{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_X^2 = \sigma_{\tau}^2 + \sigma_e^2$$

Odhadli jste reliabilitu.
Jaká bude chyba měření?

Odvodte 😊

Standardní chyba měření (SEM)

$$SE = \sigma_e = \sigma_X \sqrt{1 - r_{xx'}}$$

- Jaká je interpretace standardní chyby měření?
- Jaké jsou předpoklady této interpretace?

Standardní chyba měření (SEM)

$$SE = \sigma_e = \sigma_X \sqrt{1 - r_{xx'}}$$

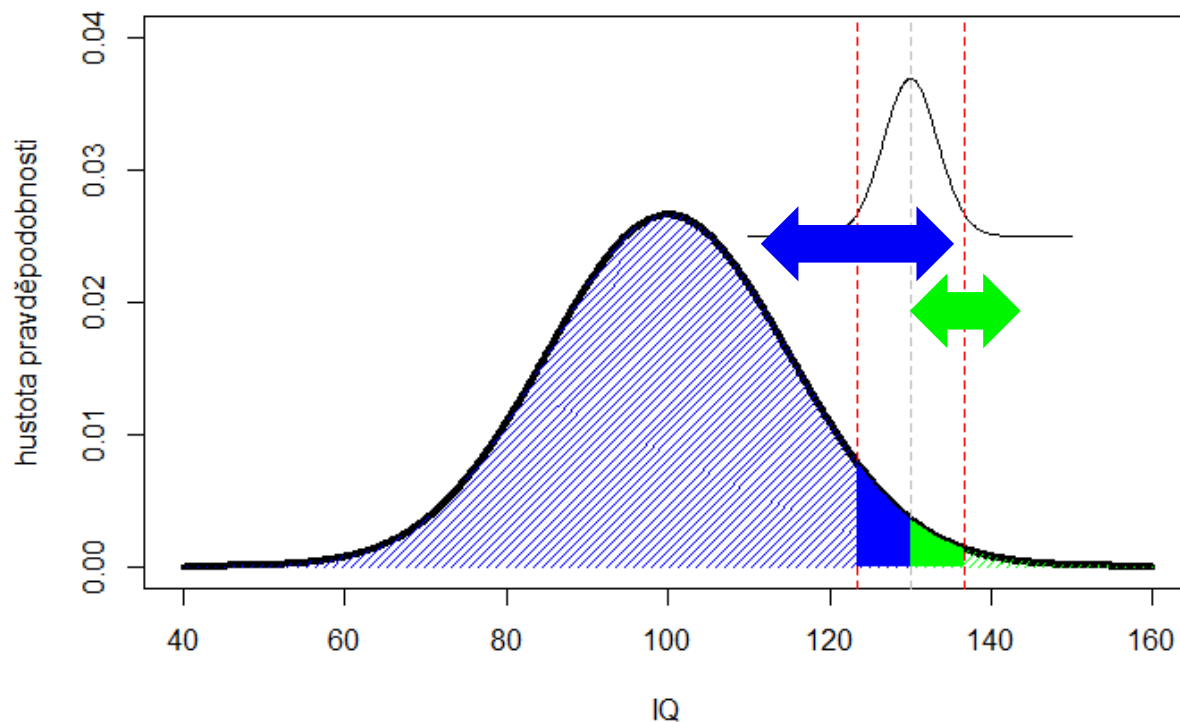
- Směrodatná odchylka jednotlivých paralelních testů (pozorovaných skóre) kolem jejich průměru (pravého skóre).
- Lze využít pro konstrukci intervalu spolehlivosti pro pravý skór
 - $CI = E(\tau) \pm z_p SEM$;
 - z_p je kvantil normálního rozložení: $z_{95\%} = 1,96$;
 $z_{90\%} = 1,64$; $z_{80\%} = 1,28$; $z_{68\%} = 1$.
- Ale...

Regresní model CTT

- Naměřil jsem klientovi IQ 130 v inteligenčním testu.
 - Náhodně vybraný z populace, nemáme žádné další informace.
 - $r_{xx'} = 0,8$.
 - Jaká je nejpravděpodobnější hodnota jeho „pravého“ IQ?

- $\sigma_X^2 = \sigma_T^2 + \sigma_e^2$

- Správná odpověď je 124.



Regresní model CTT

- Naměřené hodnoty se pohybují kolem pravé hodnoty, nikoliv naopak. Jinými slovy: chyba měření je **chybou pravého skóru**, nikoliv pozorovaného.
 - Výsledkem je tzv. regrese k průměru.
 - Intervaly spolehlivosti jsou „asymetrické“ kolem naměřené hodnoty.
- Viz doporučení z povinné literatury (Dudek, [1979](#))

Regresní model CTT

- Vzorec pro predikci τ z X :

$$E(\tau) = a + bX$$

- Využijeme běžné vzorce z lineární regrese (viz [PSYb1170](#)).

- **Směrnice:** $b = r_{x\tau} \frac{s_\tau}{s_x}$

- s_τ odvodíme z $s_x^2 = s_\tau^2 + s_e^2 \rightarrow s_\tau = \sqrt{r_{xx'}} s_x$; $r_{x\tau} = \sqrt{r_{xx'}}$

- Tedy: $b = r_{xx'}$

- **Intercept:** $a = M_\tau - bM_x = M_\tau - r_{xx'}M_x$

- My ale víme, že průměry jsou shodné: $M_\tau = M_x = M$.

- **Po dosazení:**

$$E(\tau) = M_x - r_{xx'}M_x + r_{xx'}x = r_{xx'}x + (1 - r_{xx'})M_x$$

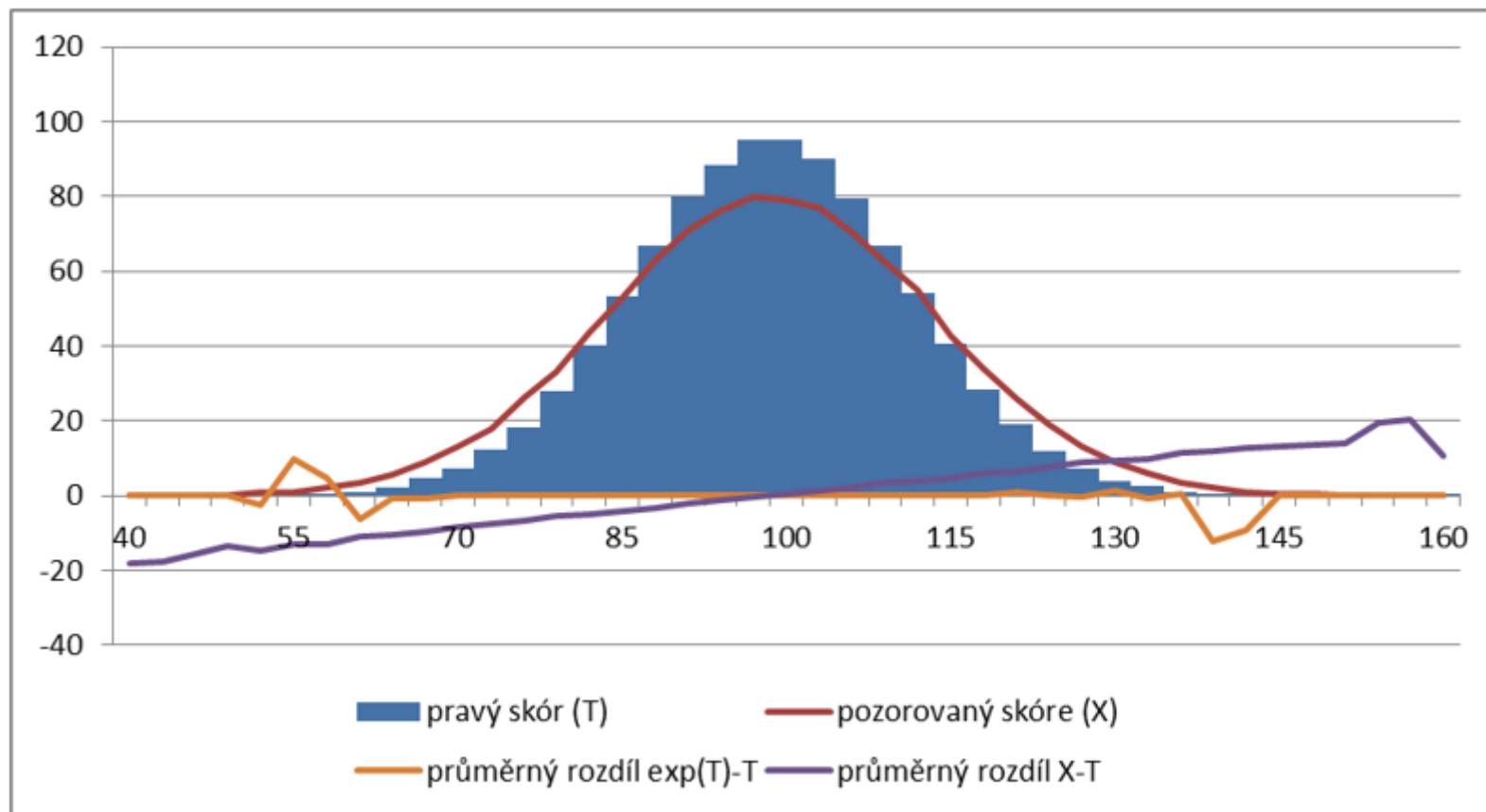
Regresní model CTT

$$\begin{aligned} E(T|x) &= r_{xx'}x + (1 - r_{xx'})M_x \\ &= M_x + (x - M_x)r_{xx'} \end{aligned}$$

- $E(T|x)$: očekávané pravé skóre T na základě pozorovaného x .
- $r_{xx'}$: reliabilita („směrnice“)
- M_x : průměrné skóre; $((1 - r_{xx'})M_x$ je „průsečík“)
- Čím větší je reliabilita, tím větší je vliv pozorovaného skóre a menší vliv populačního průměru (a naopak).

Regresní model CTT

Obrázek 2: Simulace chyb měření a odhadu ($N = 100\ 000$)



Pravé vs. pozorované skóre

- SD pravého vs. pozorovaného skóre:

$$r_{xx'} = \frac{\sigma_{\tau}^2}{\sigma_x^2} \rightarrow \sigma_{\tau} = \sqrt{r_{xx'}} \sigma_x$$

- SD pravého skóre má $\sqrt{r_{xx'}}$ krát menší SD než pozorované skóre.
- Někdy se pro konstrukci standardních skóre používá právě odhad směrodatné odchylky pravého skóre $\sigma_X \sqrt{r_{xx'}}$ (např. WISC-IV^{UK}).

- Preferovaný postup.
- V takovém případě při standardizaci použijeme standardní chybu odhadu pravého skóre:

$$SE_{\tau} = \sigma_X \sqrt{r_{xx'}} \sqrt{1 - r_{xx'}}$$

- (Nemá vliv na další výpočty s již standardizovanými skóre.)

Postup výpočtu intervalu spolehlivosti měření

1. Výběr vhodného koeficientu reliability

- Typicky vnitřní konzistence.

2. Odhad pravého skóre.

- $E(T|x) = r_{xx'}x + (1 - r_{xx'})M_x = M_x + (X - M_x)r_{xx'}$

3. Výpočet standardní chyby měření.

- $SE = \sigma_e = \sigma_X \sqrt{1 - r_{xx'}}$

4. Volba šířky intervalu (hladiny spolehlivosti).

- $z_{95\%} = 1,96$; $z_{90\%} = 1,64$; $z_{80\%} = 1,28$; $z_{68\%} = 1$

5. Konstrukce CI kolem odhadu pravého skóre.

- $CI = E(T|x) \pm z \cdot SE$

Asymetrické intervaly spolehlivosti

r	0,001		0,2		0,7		0,9		0,999	
SE	14,99		13,42		8,22		4,74		0,47	
IQ	E(t)	95% CI	E(t)	95% CI	E(t)	95% CI	E(t)	95% CI	E(t)	95% CI
40	100	[70,6–129,3]	88	[61,7–114,3]	58	[41,9–74,1]	46	[36,7–55,3]	40	[39,1–41]
60	100	[70,6–129,3]	92	[65,7–118,3]	72	[55,9–88,1]	64	[54,7–73,3]	60	[59,1–61]
80	100	[70,6–129,4]	96	[69,7–122,3]	86	[69,9–102,1]	82	[72,7–91,3]	80	[79,1–80,9]
100	100	[70,6–129,4]	100	[73,7–126,3]	100	[83,9–116,1]	100	[90,7–109,3]	100	[99,1–100,9]
120	100	[70,6–129,4]	104	[77,7–130,3]	114	[97,9–130,1]	118	[108,7–127,3]	120	[119,1–120,9]
140	100	[70,7–129,4]	108	[81,7–134,3]	128	[111,9–144,1]	136	[126,7–145,3]	140	[139–140,9]
160	100	[70,7–129,4]	112	[85,7–138,3]	142	[125,9–158,1]	154	[144,7–163,3]	160	[159–160,9]

Rozdíl dvou pozorovaných měření

- Nejjednodušeji: srovnání, zda se CI nepřekrývají.
 - Příliš striktní, malá síla testu.
- Standardní chyba rozdílu:
 - $SE_{A-B} = \sqrt{SE_A^2 + SE_B^2}$
 - V případě jediného testu: $SE_{A-B} = \sigma_X \sqrt{2} \sqrt{1 - r_{xx'}}$
- Očekávaným rozdílem je 0, interval se konstruuje kolem nuly.
- Předpokládá se nezávislost chyb měření.

Predikce jednoho skóre z jiného

- Standardní chyba predikce:

- $SE_{pred} = \sigma_X \sqrt{1 - r_{xx'}^2}$

- Koeficient determinace ze statistiky
 - Nepredikujeme z měření na pravý skór, ale z měření na měření; proto je nutné reliabilitu ještě jednou umocnit.
- Očekávaným skórem je odhad pravého skóre, konstruuje se kolem predikce.
- Typicky se využívá test-retest reliabilita.
- Lze ale využít i pro predikci skóre z jednoho testu z jiného (pak dosadíme korelaci namísto reliability).

Standardní chyba predikce vs. standardní chyba rozdílu

- Predikce: $SE_{pred} = \sigma_X \sqrt{1 - r_{xx'}^2}$
 - Jde o chybu rozdílu pozorovaného a predikovaného:
 $x' - E(x'|x)$.
- Rozdíl: $SE_{A-B} = \sigma_X \sqrt{2} \sqrt{1 - r_{xx'}}$
 - Jde o chybu rozdílu přímo pozorovaných skóre:
 $A - B$.

Standardní chyba predikce vs. standardní chyba rozdílu

- Mezisubjektová inference: vždy chyba rozdílu.
- Vnitrosubjektová inference:
 - Chyba predikce: v rámci jednoho testu napříč časem.
 - Chyba predikce: tzv. „klinicky významný rozdíl“.
 - Chyba rozdílu: rozdíl dvou „rovnocenných testů“.
- Pro účely tohoto kurzu: Použití standardní chyby predikce není chyba 😊
 - Výjimkou je právě tzv. „klinicky významný rozdíl“, ale tomu se nyní nevěnujeme.

Více různých druhů chyb

- Více chyb pro více účelů. Přehled:
 - Dudek, F. J. (1979). The continuing misinterpretation of the standard error of measurement. *Psychological Bulletin*, 86(2), 335–337. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.335>
 - Harvill, L. M. (1991). An NCME Instructional Module on Standard Error of Measurement. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 10(2), 33–41. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.1991.tb00195.x>
 - Cígler, H., & Šmíra, M. (2015). Chyba měření a odhad pravého skóru: Připomenutí některých postupů Klasické testové teorie. *Testforum*, 4(6), 67–84. <https://doi.org/10.5817/TF2015-6-104>
- Pro účely PSb2590 stačí výpočty uvedené v prezentaci.
- Diagnostická kalkulačka: <http://kalkulacka.testforum.cz>
 - (Ale nedoporučuji se spoléhat jen na kalkulačku, dovedost výpočtu může být důležitá a hodnocená!)

Praktické cvičení 1

- Zbyněk byl vyšetřen testem hudebního nadání a v testu dosáhl 40 bodů.
- Víte, že průměrné skóre je $M=60$ ($SD=20$) a reliabilita $r=0,7$.
- Jaký je interval spolehlivosti tohoto měření?
- Zbyněk není spokojen s výsledkem a nechá se vyšetřit znovu. V jakém intervalu bude nejspíše ležet jeho druhý výsledek?

Praktické cvičení 2

- Zbyšek byl vyšetřen testem matematických schopností, jeho T-skóre je $T=70$.
- Víte, že vnitřní konzistence je $\alpha=0,9$ a test-retest po 3 měsících $r=0,8$.
- Jaký je interval spolehlivosti tohoto měření?
- Na základě testování Zbyšek podstoupí 3měsíční kurz rozvoje matematických schopností. Po jeho ukončení je znovu vyšetřen. Jakého skóre musí dosáhnout, aby byl kurz „úspěšný“?

Praktické cvičení 3

- Zbyněk byl vyšetřen psycholožkou dvěma talentovými testy – testem hudebního nadání a testem matematického nadání.
- V testu **hudebního** nadání získal Zbyněk **70 bodů z 90** možných a v testu **matematického** nadání **75 bodů ze 100** možných.
- Víme, že test **hudebního** nadání má přibližně normální rozložení o průměru 50b ($SD=20$) a test **matematického** nadání má také normální rozložení o průměru 45 ($SD=15$).
- Reliabilita testu **hudebního** nadání je $r_H=0,8$, reliabilita testu **matematického** nadání je $r_M=0,9$.
- Ve které z testovaných oblastí má Zbyněk výraznější talent?