Okosabb vagyok-e mint az okosmérleg?

Márton Kiss, MD (mrkmarton@gmail.com)

2020 05 14

Miről lesz szó?

Nem vagyok meggyőződve a fürdőszobamérlegem pontosságáról, ezért némi (ön-) kísérletezésbe fogtam.

A következőkben:

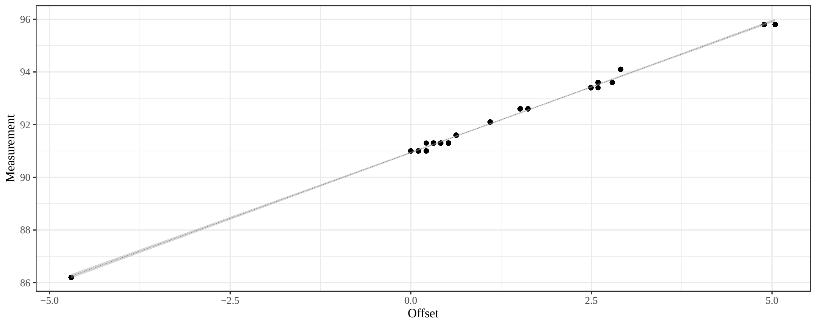
- Kísérletet teszek a mérlegem **kalibrálására** családtagok segítségével
- Bemutatok egy módszert, ami némi **plusz információ** segítségével pontosabb és esetleg hasznosabb eredményeket ad
- Röviden megemlékezem a **"self-tracking"** jelenségéről és az általánosan alkalmazott eljárások korlátairól

Forrásadatok, kódok:

`https://github.com/MartynK/Martysweight`
`https://github.com/MartynK/Martysweight/blob/master/Fasting_presentation_biostat/Biostat_tarsasag_Okosmerleg_prezi.pdf`
`https://martynk.github.io/Martysweight/` (coming soon...)

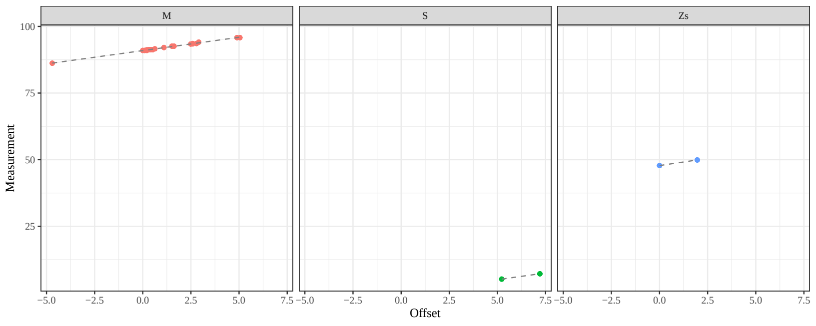
Kísérleti felállás - kalibráció

Ismételt méréseket végeztem *ismert* tömegű víz fogyasztása után (több lépcsőben), majd szintén *ismert* tömegű súlyok (*Offset* változó, 2 kg-os súlyzók, festékesbödönök, kisbaba) együttes mérésével.



Kísérleti felállás - kalibráció II.

A feleségem segítségével még egy “szinten” történt mérés súlyzóval/súlyzó nélkül. Végül, a súlyokkal önmagában is készültek mérések (egy szintén ismert tömegű fazékot is felhasználva).



Feltűnik, hogy az ismétlések során az ismételt mérések összetartanak, csak egy esetben figyeltünk meg egy darab eltérő eredményt ismételt méréseknél! Éppen ezért az ismétléseket *elhanyagoltam* (21 db mérés marad).

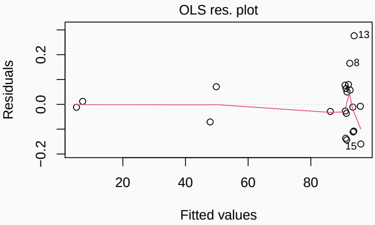
Kalibrálás WLS segítségével

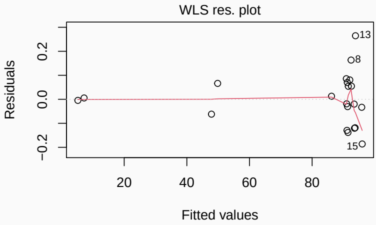
OLS alkalmazása esetén sértenénk a szóráshomogenitást (nagyobb súlyt nagyobb szórással mérnénk).

Ennek egy egyszerű megoldása a megfigyelések újrasúlyozása a szórás változását feltételezve (itt *variancia* ~ *tömeg*).

$$Tömeg = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ballaszt + \beta_2 \cdot Mért\ szituáció + \epsilon$$

Bár ez a res. plotokat nem befolyásolja érdemben, de megnyugodhatunk, hogy kezeljük a problémát.





Eredmények I/III

A szintek mérésekor a WLS modell alapján a következő eredményeket kaphatjuk:

```
## [1] "Az én tömegem pred. intervalluma (babával):"
##     fit   lwr   upr
## 1 90.91 90.66 91.17
```

```
## [1] "A feleségem tömegének pred. intervalluma:"
##     fit   lwr   upr
## 1 47.86 47.68 48.04
```

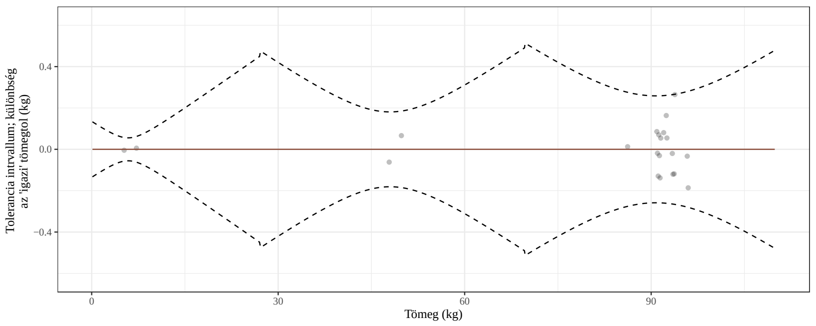
```
## [1] "A súlyok pred. intervalluma (def. szerint 0):"
##     fit   lwr  upr
## 1 -0.05 -0.19 0.09
```

Ehhez csupán a *variancia* $\sim$ *mért tömeg* összefüggést specifikáltuk. Egyedül a súlyok tömegében rejlő bizonytalanságot (ami konyhamérleggel lett mérve…) hanyagoltuk el/engedtük meg, hogy a bizonytalanság ne a független változók oldalán jelentkezzen (MA; SMA regresszióval sincs nagy különbség).

Eredmények II/III

Ha **feltesszük**, hogy a pontbecslések pontosak, *és* hogy a súlyok tömegét is pontosan adtuk meg, kiszámolható az *"igazi"* tömeg mérésenként.

Ezt felhasználva az eredeti WLS modell predikciós intervallumai a következőképpen alakulnak:



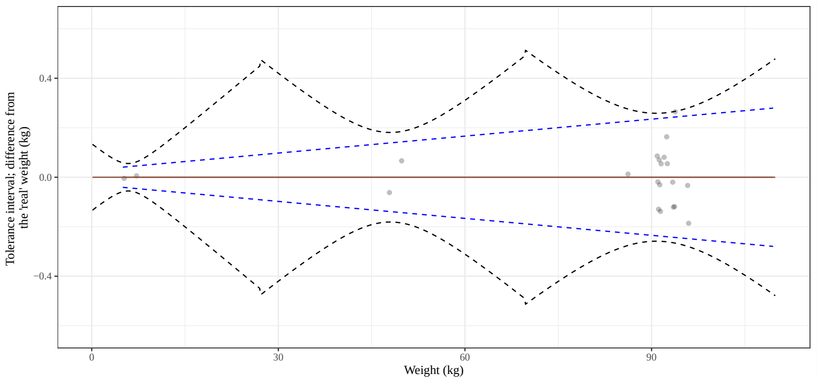
Az alak magyarázata, hogy csak relatíve kicsi tartományban mértünk újra súlyokkal (a súlyok mérésének a bizonytalansága tehát megjelenik, csak nem ideális módon).

Eredmények III/III

Ha a súlyok méréséből adódó bizonytalanságot teljesen elhanyagoljuk (tehát a kapott ~ WLS által prediktált értékeket nézzük), és fenntrtjuk a varianciára vonatkozó feltételezést, akkor az alábbi, kékkel jelölt (már tényleg kalibrációs görbének tűnő) eredményeket kapjuk:

A modell:

$$\textit{Mért Tömeg} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \textit{Igazi tömeg} + \epsilon$$



Prediction intervals based on the original WLS model (gray)

Értelmezés

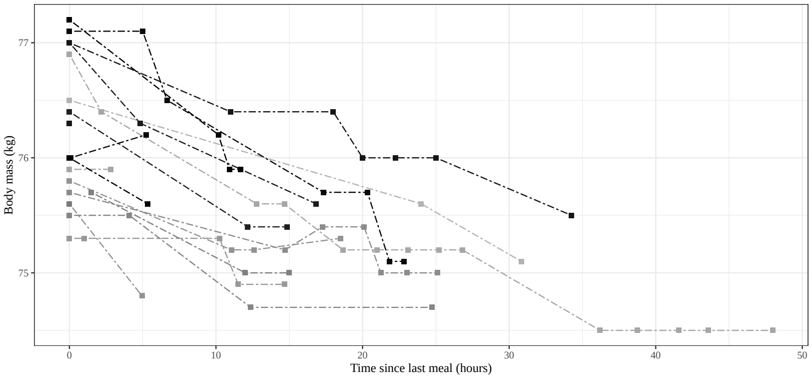
- 80 kg környékén már akár .5 kg bizonytalanság is lehet a ‘naív’ mérési eredményben.
- **’Felháborító’!** (Létjogosultságukat vesztik a ‘na jó, újramérem zokni nélkül’ típusú gondolatok...)
- Ilyen hibákkal nehéz lehet ajánlott ütemű (.5-1 kg/hét) testsúlycsökkenést követni (amit én szeretnék produkálni és követni is).
- A **releváns kérdés** megfogalmazása is érdekes - az izom/zsírtömegemet szeretném követni, *nem* az a közvetlen problémám, hogy nem ‘látok’ egy pohár megivott vizet
- Az étkezések gyakorlatilag zavarnak, többféle módon ‘pakolnak’ az emberre tömeget

Második* kísérlet

Egy kb. egy hónapos időszakban (a szokásosnál gyakrabban, de ad hoc jelleggel, kb. 2 hét kihagyással) gyűjtöttem a testtömeg értékeimet.

A mérések során rögzítettem az utolsó étkezés óta eltelt időt (és minden esetben az étkezés utáni 'baseline' értéket).

Étkezések között csak kalóriamentes folyadékot fogyasztottam.

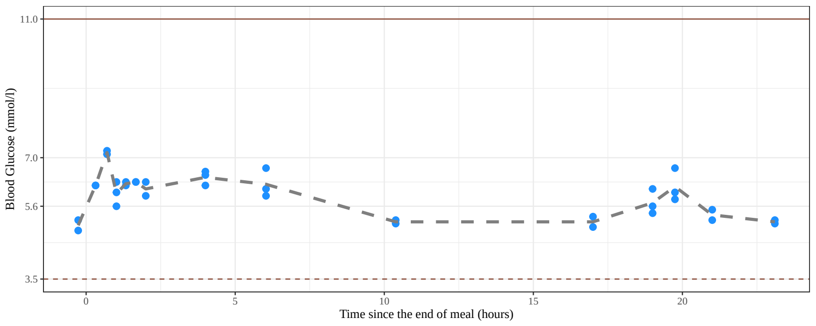


Collected measurements over time; lighter shades of grey indicates earlier collection dates.
Measurements collected in the same period of fasting are connected with dashed lines.

*Ez időben a kalibrálás előtt történt, ezért a testtömeg értékek - sajnos - location shiftnek vannak kitéve

Kitérő - biztonságosság

- Pár napos (és talán meglepő módon jóval hosszabb) koplalást más források is vizsgáltak egészségeseken [1-3]
- A ("kezdőkben") koplalás közben jelentkező fejfájás *nem* az alacsony vércukorszint jele (nálam, ld. ábra).



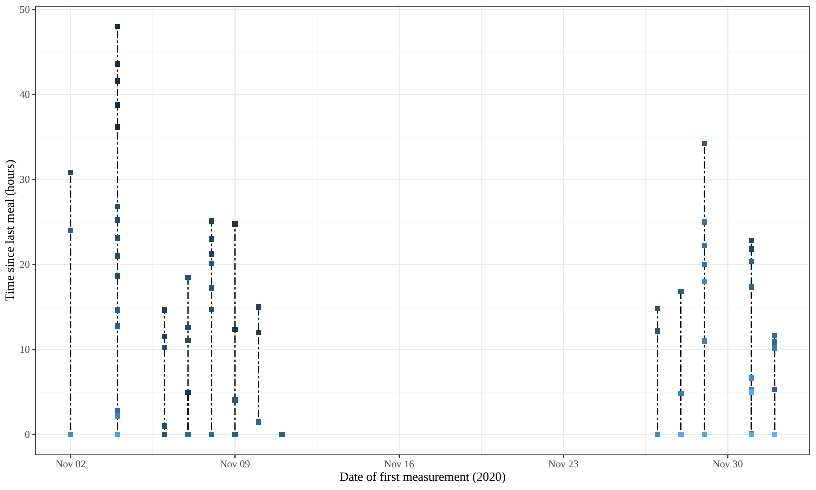
1: Zauner 2000 - https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10837292

2: Fung 2016 (előadás) https://www.youtube.com/watch?v=tIuj-oMN-Fk

3: Finnel 2018 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5819235/

Az adatsor

A megfigyelések nem kiegyensúlyozottak a dokumentált periódusban; 74 mérésből áll 18 periódusból.



Linearitás vizsgálata

Az ébredéstől eltelt órákat is feljegyztem, ezek azonban nem tűntek relevánsnak. A megfigyeléseket első körben (*thin plate regresson*) GAM-modellel vizsgáltam, az ébren töltött órákat pedig a továbbiakban elhanyagolom.

$$\begin{aligned} \textit{Mért tömeg} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot s(\textit{Koplalással töltött idô}) + \beta_2 \cdot s(\textit{Eltelt napok száma}) \\ &+ \beta_3 \cdot s(\textit{Étkezés után mért tömeg}) + \beta_4 \cdot s(\textit{Ébren töltött órák száma}) + \epsilon \end{aligned}$$

ahol

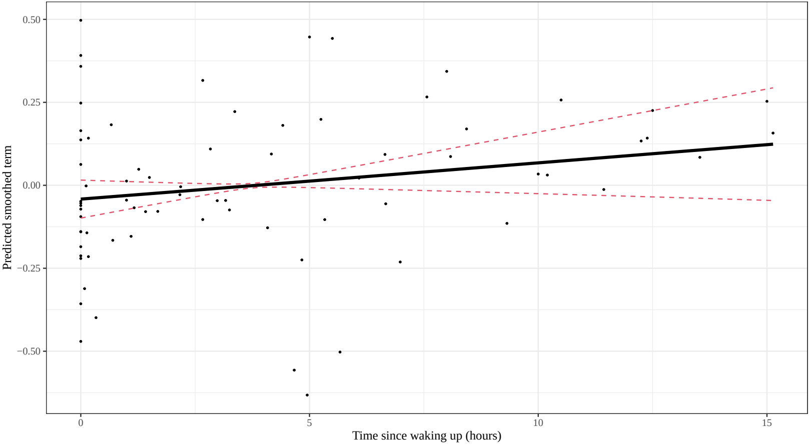
$$s(x) = \sum_{i=1}^{K} \omega_i \varphi(\|x - c_i\|)$$

és

$$\varphi(r) = r^2 log(r)$$

Ébren töltött órák száma

Az ébren töltött órák száma nem tűnik fontos változónak, a továbbiakban elhanyagoljuk.



Plot representing the importance of 'time since wakeup'.
Points represent the partial residuals, approximate 95% CI is noted with dashed lines.

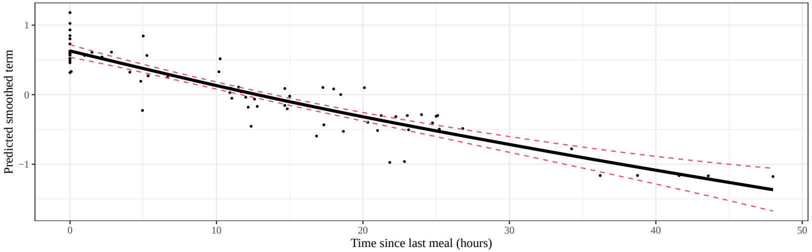
Linearitás vizsgálata GAM modellel

A (kis számú megfigyelésre állított!) GAM megközelítés szerint

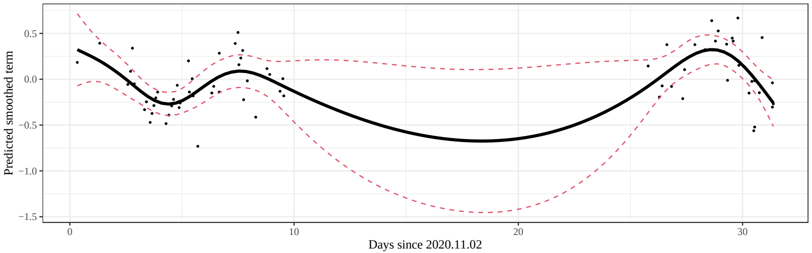
- az étkezés utáni tömeggel mint 'baseline' korrekcióval lineárisan lehet célszerű korrigálni (ha a különbségre vagyunk kíváncsiak),
- az étkezés óta eltelt időt egy alacsony fokszámú spline-nal/polinommal lehetne vizsgálni, illetve
- a hosszútávú változást egy magasabb szabadsági fokú spline-nal lehet érdemes figyelembe venni.

```
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Mass ~ s(time, bs = "ts") + s(truedate, bs = "ts") + s(Last_fed_weig
##     bs = "ts")
##
## Approximate significance of smooth terms:
##                      edf Ref.df      F  p-value
## s(time)            1.879  9.000 23.411  < 2e-16
## s(truedate)        7.056  9.000  4.424 1.68e-05
## s(Last_fed_weight) 1.104  9.000  5.503  < 2e-16
```

GAM javaslat *tömeg* ∼ *idő* összefüggésekre



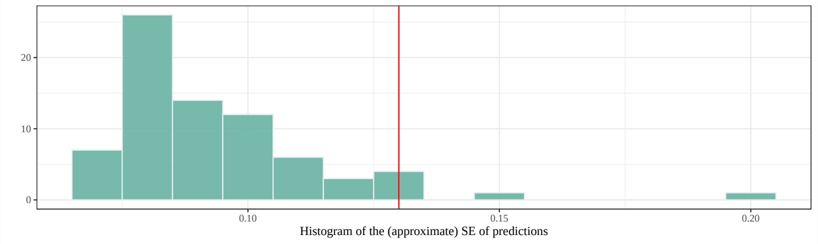
Plot representing the smoothed term. Points represent the partial residuals, approximate 95% CI is noted with dashed lines.

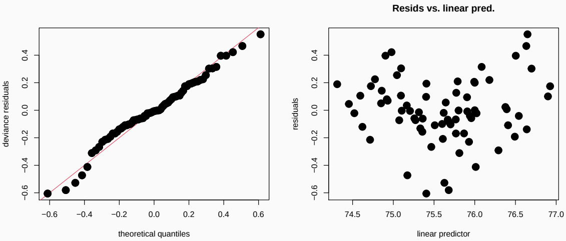


Plot representing the smoothed term. Points represent the partial residuals, approximate 95% CI is noted with dashed lines.

Predikciók pontossága

Vegyük észre, hogy amíg a kalibrált görbénél 90 kg környékén a SE kb. *0.13* kg, a GAM modell **prediktorainak** a bizonytalansága sok esetben ennél kisebb. (Bár maga a modell nehezen vehető komolyan.)





(Kevert-) Modellezés splineokkal, a koplalás hatására

Kevert modelleket vizsgáltam, ahol *korrellálatlan random slope/intercepttel* jellemeztem a koplalás hatását. Egy-egy koplalási 'epizód' hatását random hatásként vizsgáltam (i).

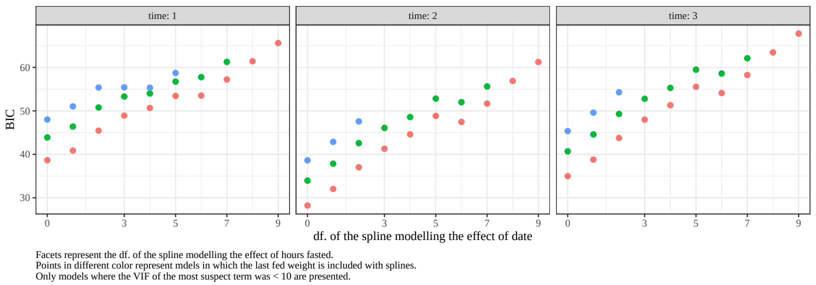
$$\begin{aligned}
\textit{Mért tömeg}_i = \beta_0 + \alpha_i &+ \sum_{k=1}^{d_1} \beta_{1k} \cdot B_k(\textit{Koplalással töltött idô}, q_d) \\
&+ \sum_{k=1}^{d_1} \beta_{1k_i} \cdot B_k(\textit{Koplalással töltött idô}_i, q_d) \\
&+ \sum_{k=1}^{d_2} \beta_{2k} \cdot B_k(\textit{Étkezés után mért tömeg}, q_d) \\
&+ \sum_{k=1}^{d_3} \beta_{3k} \cdot B_k(\textit{Eltelt napok száma}, q_d) + \epsilon_i
\end{aligned}$$

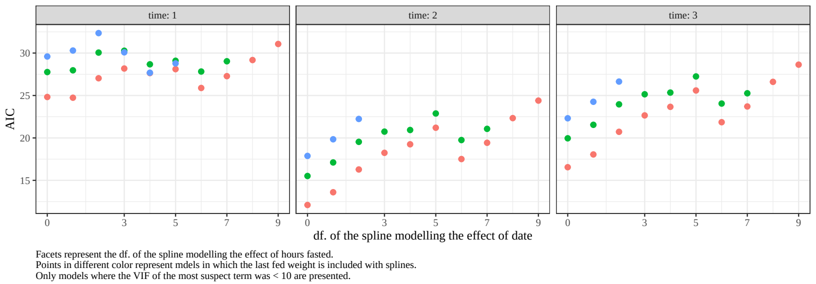
$$\alpha_i \in N(0, \sigma^2_{episode}),\ \epsilon_i \in N(0, \sigma^2 I_{n_i})$$

$$B_1(x) = x;\ B_{2..l}(x, q) = \frac{(q - \frac{1}{2})^2 - \frac{1}{12}}{4} - \frac{(abs(x - q) - \frac{1}{2})^4) - \frac{(abs(x-q) - \frac{1}{2})^2}{2} + \frac{7}{240}}{24}$$

AIC és BIC alapján néztem a prediktorok bevonhatóságát természetes splineokkal (a q_d-k kvantilisek alapján lettek meghatározva).

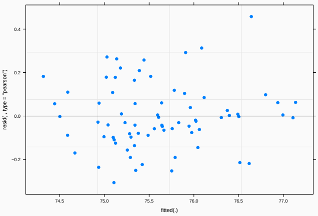
Egy másodfokú ($d_1=2$) spline-nal érdemes bevonni a koplalás idejét, és egyszerű baseline-korrekcióval ($d_2=1$) az utolsó étkezéskor mért tömeget.

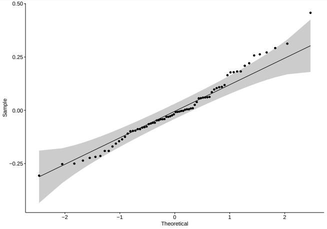


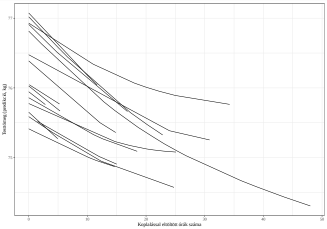


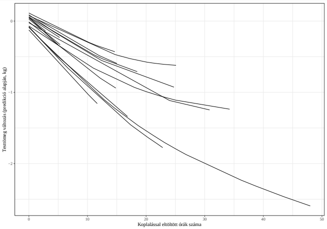
Modellezés splineokkal, a koplalás hatására - diagnosztika

A modelldiagnosztikák (majdnem) megfelelők, a koplalási periódusokra (belőlük számított testtömeg-változásra) adott predikciók lent láthatók.



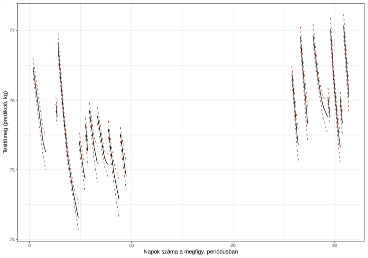


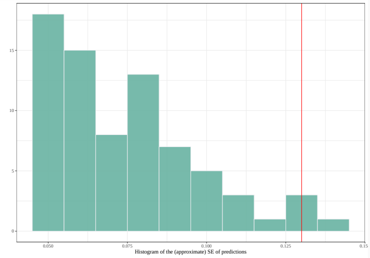


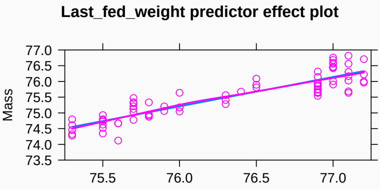


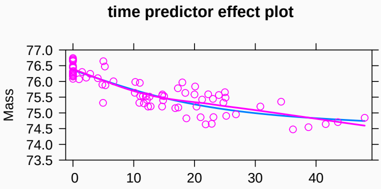
"Pontosság"

A **random hatásokra feltételes** (tehát az étkezés utáni tömeg pontosan ismert!), bootstrap alapján becsült predikciós intervallum bizonytalansága igen kicsi.
Ez a megközelítés a *koplalás - testtömeg* modellezésére igen jó *(R^2 analóg mérték: 0.65; 0.96 a random hatásokra kondicionálva)*, de *a napról-napra történő változás figyelembevételére nem*.









Tömeg modellezése (‘baseline’ nélkül)

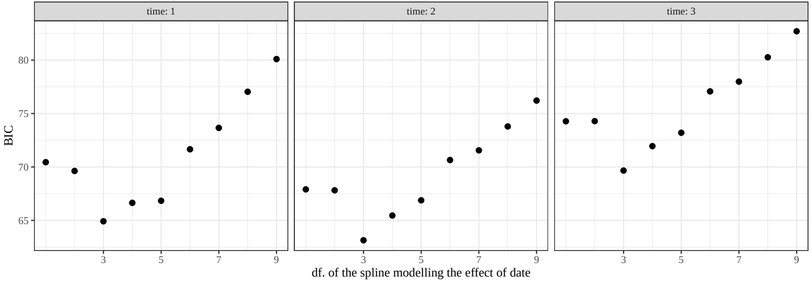
Az előzők a koplalás hatását specifikusan vizsgálják, hiszem - a baseline korrekció miatt - a tömegváltozást vizsgálják az étkezések után. Ennek kihagyása esetén ténylegesen a testtömeg változását nézhetjük az idő függvényében a következők szerint:

$$
\begin{aligned}
\textit{Mért tömeg}_i = \beta_0 + \alpha_i &+ \sum_{k=1}^{d_1} \beta_{1k} \cdot B_k(\textit{Koplalással töltött idô}, q_d) \\
&+ \sum_{k=1}^{d_1} \beta_{1k_i} \cdot B_k(\textit{Koplalással töltött idô}_i, q_d) \\
&+ \sum_{k=1}^{d_2} \beta_{2k} \cdot B_k(\textit{Eltelt napok száma}, q_d) + \epsilon_i
\end{aligned}
$$

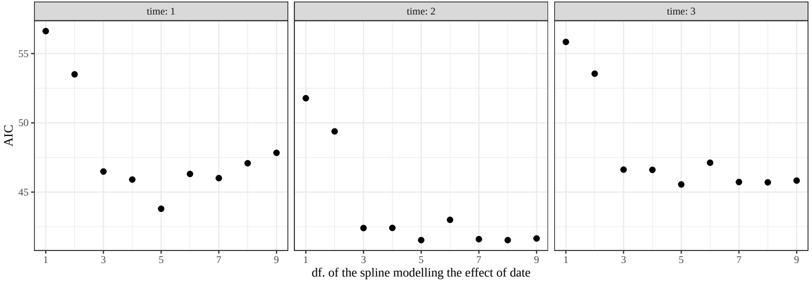
$$
\alpha_i \in N(0, \sigma^2_{episode}),\ \epsilon_i \in N(0, \Sigma_i)
$$

$$
B_1(x) = x;\ B_{2..l}(x,q) = \frac{(q - \frac{1}{2})^2 - \frac{1}{12}}{4} - \frac{(abs(x-q) - \frac{1}{2})^4) - \frac{(abs(x-q) - \frac{1}{2})^2}{2} + \frac{7}{240}}{24}
$$

BIC alapján $d_1 = 2$, $d_2 = 3$ ajánlott.
(Az AIC df=5-ös ajánlása esetén konvergencia problémák jelentkeztek, magasabb df alkalmazása esetén a VIF is nő.)



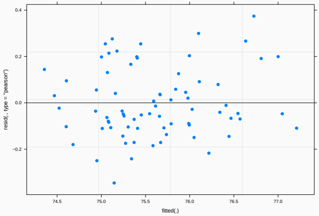
Facets represent the df. of the spline modelling the effect of hours fasted.
Points in different color represent mdels in which the last fed weight is included with splines.
Only models where the VIF of the most suspect term was < 10 are presented.

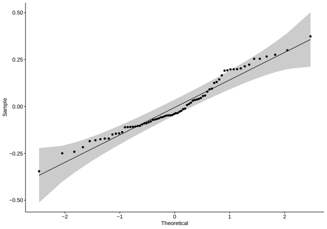


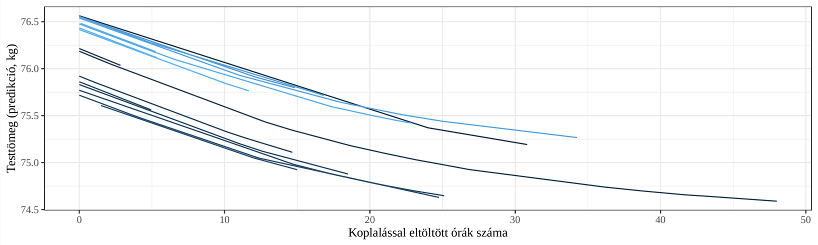
Facets represent the df. of the spline modelling the effect of hours fasted.
Points in different color represent mdels in which the last fed weight is included with splines.
Only models where the VIF of the most suspect term was < 10 are presented.

Tömeg modellezése

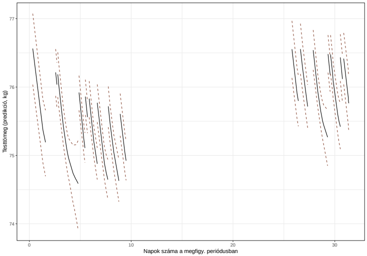
AIB/BIC/LR teszt alapján ebben az esetben *korrelált* random slope/intercept modell javallott (a random slope kivétele rontott a modellen).
Az így összeállított modell fontosabb diagnosztikái elfogadhatók.

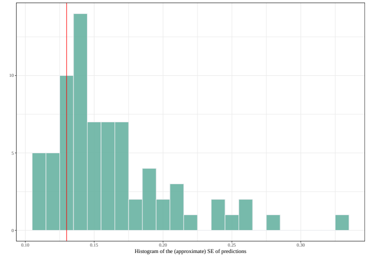


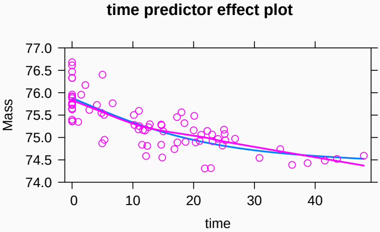


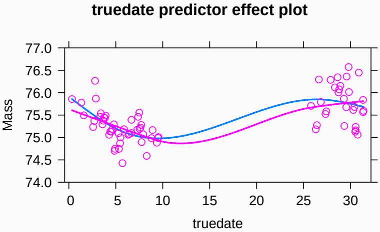


A **random hatásokra feltételes**, **fix** komponens bizonytalansága - általában - nem jobb a mérleg *ab ovo* vett bizonytalanságával (*lmerTest* alapján).



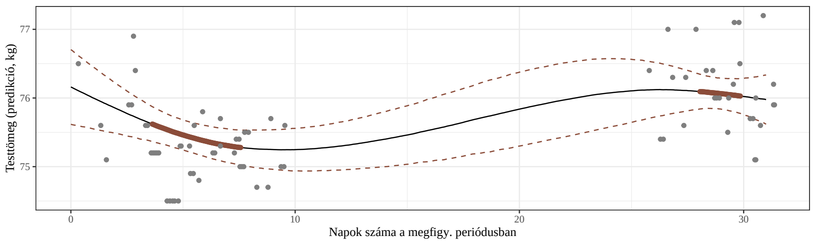


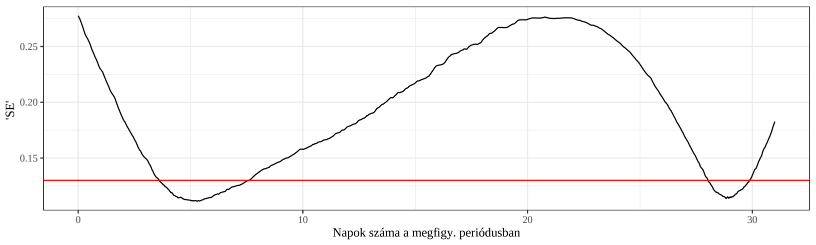




Predikciók I/II

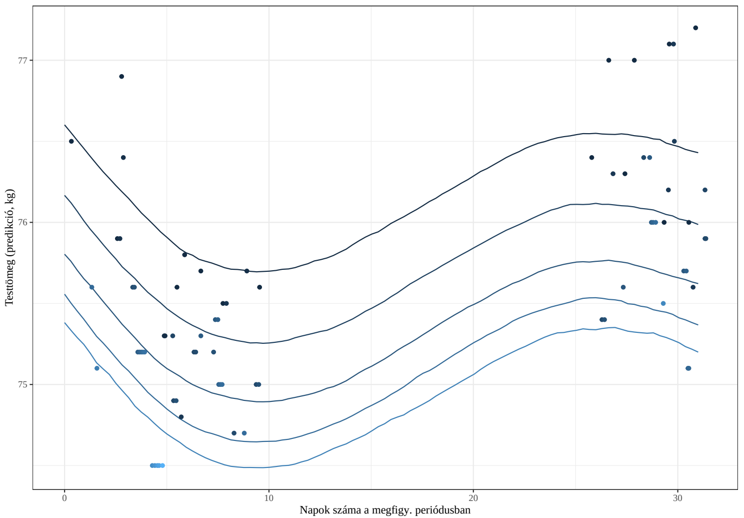
Ha a (*random hatásokra kondícionált*) **fix** hatások (közelített) bizonytalanságát tekintjük irányadónak, kiemelhetők bizonyos időszakok, amikor a modell kisebb hibával becsülte a testtömeget a közeli étkezések hatása nélkül(!)





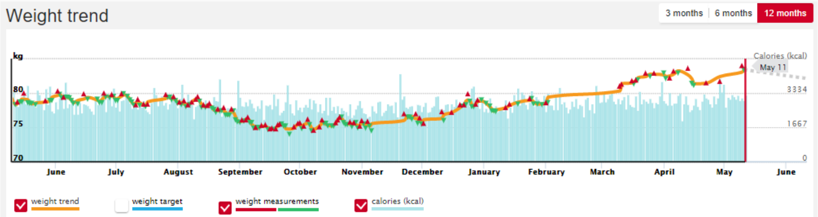
Predikciók II/II

Ha a (random hatásokra kondícionált) fix hatások (közelített) bizonytalanságát tekintjük irányadónak, kiemelhetők bizonyos időszakok, amikor a modell kisebb hibával becsülte a testtömeget **a közeli étkezések hatása nélkül**(!) *(R^2 analóg mérték: 0.66; 0.93 a random hatásokra kondicionálva.)*



Megjegyzések, tanulságok

- A jelen felállás csak **asszociációt** hivatott kimutatni!
- **TILOS** meggondolatlanul extrapolálni egy adott ember adataiból!
- A gyakorlatban a *standardizálás* jelentőségét lehetne kiemelni (pl. csak reggelente mérjünk testtömeget)
- Az ilyen jellegű tájékozódásoknál a mintavétel kényelme a szakmai szempontok rovására mehet
- Bevallottan sok plusz munkával lehet javítani a mérés pontosságát (*"akár"* ~40%-kal kisebb szórás...!)
- Számos out-of-the-box, IoT megoldás elérhető különböző (nem túl fantáziadús) paraméterek méréséhez, mégis meg lehet kérdőjelezni egy egyszerű mérleg eredményeit (miért nem normálisak a mérési hibák...?)
- Az adatgyűjtést mindezek ellenére manuálisan kellett intéznem
- Az ilyen megoldások generált outputjai, jelentései sokszor még szórakozásnak sem jók



Mi történt?

- Prezentáltam egy ötletet hogy hogyan lehet egyszerűen (?) kalibrálni a fürdőszobamérlegünket
- Bemutattam két (szabadon használható/terjeszthető) vizsgálható adatsort, reprodukálható eredményekkel
- Demonstráltam, hogy - bizonyos feltételekkel - az étkezéstől eltelt idő figyelembevételével akár a mérleg pontosságát meghaladóan modellezhetjük a testtömeget