Time Series Simulation

Rachael Phillips

19 June 2019

Contents

Overview

We may be interested in a few contexts for simulation.

- Pure prediction
- Causal effect of baseline treatment
- Causal effect of time-varying treatment

The simulation presented is for the context of pure prediction. It involves estimating models for each patient then simulating from models which produce reliable 30-minute-ahead forecasts of `abpmean`. Currently, the combined super learner is predicting a binary outcome `Y1` which is derived from `abpmean`.

1 Prepare the data

We wanted to ensure that there were not large gaps of time from one outcome measurement to the next. We only considered patients that had:

- 4 hours of data and we only used these first 4 hours of data;
- no more than 62 second gap between two sequential outcome measurements, on average; and
- no more than 3 minute gap between two sequential outcome measurements.

This left us with 447 subjects.

233 of the 447 subjects experienced at least one hypotensive event, and the outcome `Y1` was used to specify hypotensive events. The hypotensive patients were classified as any patient that exhibited a hypotensive event. The non-hypotensive never experienced a hypotensive event.

2 Create ARIMA models for each patient

An auto-regressive integrated moving average model (ARIMA) is specified by three order parameters: (p, d, q).

p is the number of autoregressive terms The p is the auto-regressive (AR(p)) component and refers to the use of past values in the regression equation for the series. The auto-regressive parameter p specifies the number of lags used in the model. Intuitively, this would be similar to stating that it is likely to be warm tomorrow if it has been warm the past p days.

d is the number of nonseasonal differences The d represents the degree of differencing in the integrated (I(d)) component. Differencing a series involves subtracting its current and previous values d times. Often, differencing is used to stabilize the series when the stationarity assumption is not met. Intuitively, this would be similar to stating that it is likely to be same temperature tomorrow if the difference in temperature in the last d days has been very small.

q is the number of moving-averages terms A moving average (MA(q)) component represents the error of the model as a combination of previous error terms, where q defines the number of terms to include in the model.

Differencing, autoregressive, and moving average components make up a non-seasonal ARIMA model which can be written as a linear equation:

$$Y_t = c + \phi_1 y_{dt-1} + \phi_p y_{dt-p} + ... + \theta_1 e_{t-1} + \theta_q e_{t-q} + e_t$$

where y_d is Y differenced d times and c is a constant.

ARIMA methodology does have its limitations. These models directly rely on past values, and therefore work best on long and stable series. Also note that ARIMA simply approximates historical patterns and therefore does not aim to explain the structure of the underlying data mechanism.

Resources:

- A Short Introduction to ARIMA
- Time Series: AR, MA, ARMA, ARIMA
- Hyndman and Athanasopoulos Forecasting: Principles and Practice

We use `forecast::auto.arima()` to find the best models for the hypotensive and non-hypotensive patients.

This function selects the optimal autoregressive and moving average orders p and q based on a chosen information criterion (AICc by default) from a local search over a few regions of values.

2.1 Examine accuracy of one-step ahead forecasts

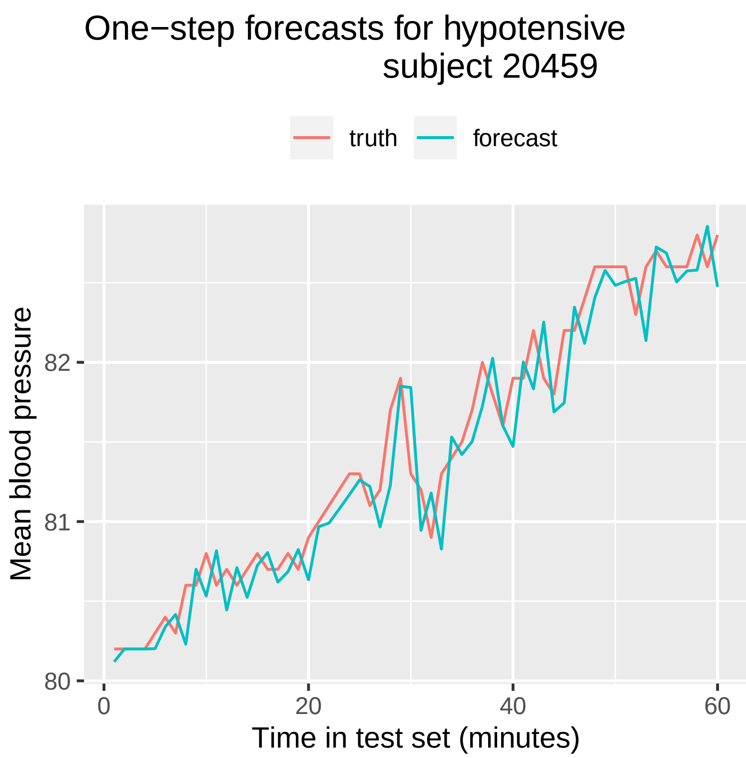
For each subject considered for simulation, we split the first 80% of data into a training set, and last 20% into a test set.

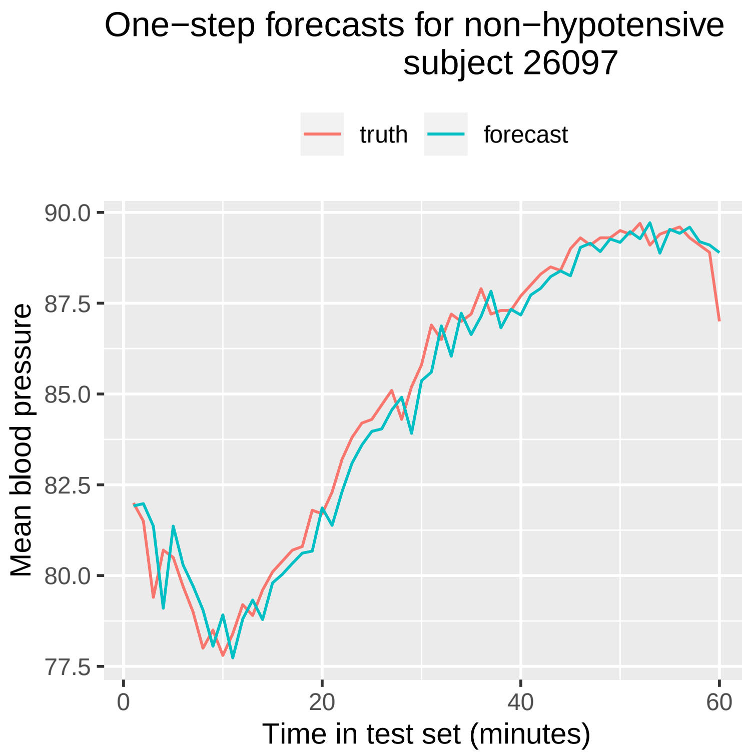
We assess the accuracy for the ARIMA model fits by calculating one-step aheaed forecasts. These forecasts are for as many time points in the test set. This procedure applies the already fitted model and predicts "one-step ahead" forecasts by predicting the next outcome and then adds the actual outcome to the prediction equation for next outcome prediction.

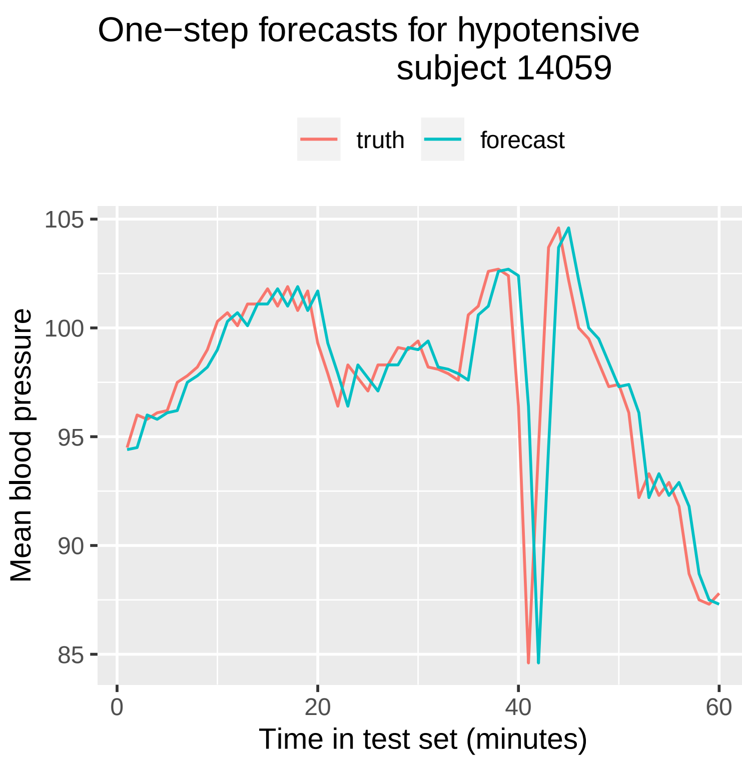
Note this procedures updates the prediction equation with the new data point, but does not changing the model coefficients. It is possible to do a full refit of the model each time a new data point is added, and then predict with that, but I do not consider that procedure in this assessment of model accuracy.

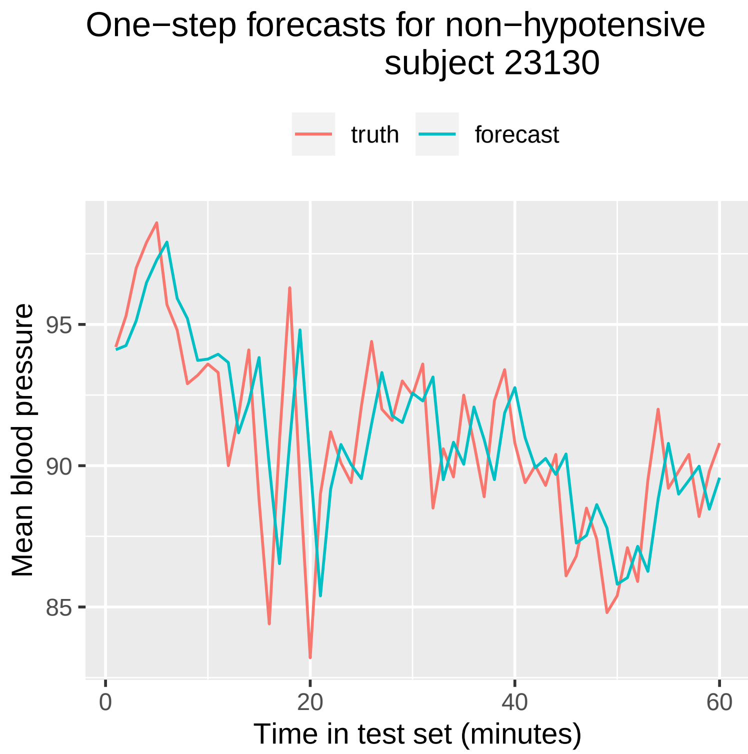
We examined the accuracy of one-step ahead forecasts with the mean absolute error (MAE) = mean($|e_t|$).

We plot a few of these forecasts to examine the best model fits according to the MAE. We also plot model fits that are just below MAE > 2, since we will consider MAE > 2 as a cutoff to subset acceptable model fits from unacceptable.




One−step forecasts for non−hypotensive subject 26097
truth
forecast
Mean blood pressure
90.0
87.5
85.0
82.5
80.0
77.5
0
20
40
60
Time in test set (minutes)


One−step forecasts for hypotensive subject 14059
truth
forecast
Mean blood pressure
105
100
95
90
85
0
20
40
60
Time in test set (minutes)



2.2 Select patients for simulation based on ARIMA model performance

We excluded subjects from simulation with MAE > 2. This left us with 122 subjects that experienced a hypotensive event and 120 that did not.

2.3 Examine coefficients for ARIMA model fits included in simulation

Table 1: ARIMA model coefficients and baseline characteristics among hypotensive patients included in simulation

subject_id	ar1	ma1	ma2	ma3	ma4	ar2	ar3	ar4	ar5	drift	ma5	intercept	hypo_event	gender	age	sapsi_first	sofa_first	bmi	care_
491	NA	-0.60	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	201	M	80	15	15	24.36	CCU
650	NA	-0.29	0.03	-0.15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	194	M	59	23	11	20.88	CSRU
3652	NA	-0.02	-0.06	0.06	0.04	NA	NA	NA	NA	NA	0.27	NA	53	F	81	30	13	NA	CCU
3884	NA	0.19	-0.08	-0.08	-0.24	NA	NA	NA	NA	NA	-0.16	NA	107	F	58	15	10	23.13	CSRU
3886	NA	-0.43	-0.15	0.12	-0.21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	189	F	66	8	3	NA	MICU
4041	NA	-0.55	-0.09	0.06	-0.12	NA	NA	NA	NA	NA	0.21	NA	86	M	87	14	6	24.42	CCU
4317	NA	-0.38	-0.03	-0.07	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	33	F	35	14	9	NA	MICU
5574	NA	-0.29	-0.23	-0.28	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	258	F	64	9	1	NA	MICU
6042	NA	-0.74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	298	M	63	16	15	NA	MICU
6323	NA	-0.33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	41	M	62	15	8	28.29	CSRU
7183	NA	-0.90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	298	F	33	23	14	31.76	CCU
7470	NA	-0.35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	39	F	74	15	7	NA	CCU
7632	NA	-0.44	-0.12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	22	M	57	12	7	23.92	CCU
9001	NA	-0.13	-0.41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	108	F	88	18	6	19.96	MICU
10525	NA	-0.42	-0.37	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.18	NA	NA	81	F	86	23	7	NA	MICU
11138	NA	-0.19	-0.34	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	13	M	63	11	9	28.94	CSRU
11855	NA	-0.52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	10	F	74	20	7	23.00	CSRU
12586	NA	-0.06	-0.14	0.16	-0.34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	20	F	64	16	8	29.84	CCU
12807	NA	-0.33	-0.14	0.03	-0.07	NA	NA	NA	NA	NA	0.23	NA	83	F	84	21	14	NA	CCU
14919	NA	-0.16	-0.29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	284	F	48	20	9	48.39	MICU
15997	NA	-0.16	-0.17	-0.07	-0.23	NA	NA	NA	NA	NA	-0.16	NA	6	M	68	19	12	NA	CCU
16607	NA	-0.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	11	M	72	19	8	28.08	CSRU
18687	NA	-0.23	-0.09	-0.22	0.03	NA	NA	NA	NA	NA	-0.21	NA	9	F	62	21	12	NA	CCU
19125	NA	-0.26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	17	F	79	21	12	22.82	CSRU
19898	NA	-0.42	-0.24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	161	M	43	27	17	NA	MICU
20345	NA	-0.62	0.21	-0.17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	137	M	75	32	18	31.10	MICU
20794	NA	0.17	-0.08	-0.45	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	26	M	85	15	6	NA	CCU
20986	NA	-0.21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	218	M	68	20	9	NA	MICU
23047	NA	-0.06	-0.27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	102	F	73	14	7	NA	MICU
23617	NA	-0.11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	62	M	88	19	10	20.39	CSRU
25328	NA	-0.19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	13	F	77	9	2	27.34	CCU

Table 1: ARIMA model coefficients and baseline characteristics among hypotensive patients included in simulation
(continued)

subject_id	ar1	ma1	ma2	ma3	ma4	ar2	ar3	ar4	ar5	drift	ma5	intercept	hypo_event	gender	age	sapsi_first	sofa_first	bmi	care_
25627	NA	0.00	-0.11	-0.15	-0.16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	F	75	18	5	NA	CCU
26380	NA	-0.86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	94	F	88	16	9	24.74	CCU
217	-0.61	0.51	-0.19	-0.33	-0.34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	120	M	68	14	4	29.14	CSR
625	0.85	-0.74	-0.30	0.24	-0.16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	50	M	60	21	13	27.67	CSR
1012	0.68	-0.98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	M	76	12	2	NA	CCU
1861	0.85	-1.26	0.29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	79	M	81	11	8	NA	MIC
2917	0.27	-0.71	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-0.17	NA	NA	13	M	54	13	5	30.50	CCU
3218	0.82	-0.98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	122	M	64	17	12	22.79	CSR
3521	0.95	-0.15	-0.33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	73.33	29	M	76	17	13	29.30	CCU
4401	0.46	-0.78	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	F	60	22	10	22.85	CSR
5163	0.81	-0.03	-0.19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	66.10	84	M	27	17	9	NA	MIC
6637	0.62	-0.73	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	34	M	79	15	9	30.73	MIC
7213	0.86	0.10	0.23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	75.57	20	F	65	15	9	46.37	CSR
7410	0.86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	81.75	8	M	79	21	9	20.48	CSR
7886	0.82	-1.36	0.37	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	58	M	66	17	9	26.61	CSR
8779	0.46	-0.72	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51	M	56	21	12	41.86	CSR
9341	0.89	-0.80	-0.17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	47	F	63	15	11	22436.29	MIC
9664	0.95	-0.56	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	78.32	10	M	72	8	7	28.85	CCU
10766	0.78	-0.62	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	28	M	39	14	8	27.27	CSR
13146	0.53	-0.81	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	72	M	80	20	8	34.51	CSR
13353	0.77	-0.94	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	201	F	63	21	8	22.49	CSR
13422	0.26	-0.44	-0.43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	203	F	76	23	12	41.54	CSR
13485	0.37	-0.70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	42	M	68	20	9	24.91	CSR
16915	0.78	-0.66	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	14	M	87	18	10	NA	CCU
18219	0.48	-0.63	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	176	F	77	14	5	26.72	MIC
18595	-0.74	0.43	-0.41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	16	F	77	13	3	NA	CCU
20658	0.69	-0.95	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	67	F	73	21	15	15.12	CSR
21152	0.34	-0.74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	63	F	71	21	13	18.58	CCU
21709	0.60	-0.90	-0.09	0.66	-0.49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	151	M	62	13	5	43.65	CCU
22657	0.25	-0.69	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	M	85	14	3	NA	MIC
22937	0.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	83.74	6	F	75	21	9	21.47	CSR
23270	0.65	-1.79	0.82	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	133	F	77	25	10	27.13	CSR
23459	0.84	-0.97	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	79	M	80	20	7	27.04	CSR
23922	-0.29	0.60	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51	M	66	14	6	36.59	CSR
24567	0.74	0.36	0.31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	56.10	277	M	67	17	5	NA	CSR
25140	0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51.37	288	F	70	16	11	NA	MIC
26710	0.22	-0.75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	F	63	22	10	25.68	CCU
906	0.09	-0.20	-0.69	NA	NA	0.37	NA	NA	NA	NA	NA	NA	85	M	78	22	14	19.68	MIC
2317	-0.17	NA	NA	NA	NA	-0.13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	54	M	21	20	9	NA	MIC
2827	0.66	-0.97	NA	NA	NA	0.10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	243	F	87	16	13	22.26	MIC
3192	1.27	-0.96	NA	NA	NA	-0.35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7	F	31	12	7	54.66	CSR
5126	0.69	-0.98	NA	NA	NA	0.12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24	F	69	30	14	24.33	CCU
8451	-1.47	1.42	0.46	NA	NA	-0.56	NA	NA	NA	NA	NA	NA	205	M	51	16	11	NA	MIC
8749	0.39	-0.91	NA	NA	NA	0.21	NA	NA	NA	0.11	NA	NA	183	M	63	22	14	NA	MIC
9678	0.37	-0.46	0.94	NA	NA	-0.82	NA	NA	NA	NA	NA	NA	112	M	56	12	9	34.48	CSR
10205	1.83	-2.23	1.68	-0.45	NA	-0.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	58	M	66	17	9	30.65	CSR
10250	1.01	-0.91	NA	NA	NA	-0.23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	66	F	91	22	11	NA	CCU
11380	1.17	-0.99	NA	NA	NA	-0.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	13	F	74	20	9	NA	MIC
11829	0.74	NA	NA	NA	NA	0.13	NA	NA	NA	NA	NA	71.00	11	M	19	14	8	34.18	MIC
12673	1.22	-0.99	NA	NA	NA	-0.29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	12	M	54	13	5	25.91	CSR
14123	-0.46	NA	NA	NA	NA	-0.13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	229	M	71	20	13	NA	CCU
15303	0.46	-0.95	NA	NA	NA	0.11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	227	M	84	20	5	NA	MIC
15885	1.78	-1.90	1.25	-0.33	NA	-0.83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	62	M	68	16	7	45.13	CSR
16876	1.11	0.49	0.28	NA	NA	-0.33	NA	NA	NA	NA	NA	79.36	30	F	83	20	7	21.32	CSR
17810	1.71	-0.59	NA	NA	NA	-0.76	NA	NA	NA	NA	NA	68.91	80	M	71	16	7	32.90	CSR
18229	1.35	NA	NA	NA	NA	-0.39	NA	NA	NA	NA	NA	84.06	19	F	62	17	11	29.16	CSR
18998	-0.06	NA	NA	NA	NA	-0.49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	45	F	84	18	10	27.88	CSR
20246	1.83	-2.12	1.38	-0.25	NA	-0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	21	M	61	13	8	31.39	CSR
20459	1.14	-0.79	NA	NA	NA	-0.49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24	F	29	6	7	NA	MIC
22242	0.83	-0.90	NA	NA	NA	-0.19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	118	M	86	27	12	23.48	CCU
22393	1.37	-1.59	0.83	-0.22	NA	-0.57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6	M	82	17	10	33.49	CSR
23180	1.42	NA	NA	NA	NA	-0.55	NA	NA	NA	NA	NA	68.32	70	M	82	16	8	26.51	CSR
25207	1.40	-1.42	0.65	NA	NA	-0.76	NA	NA	NA	NA	NA	NA	70	M	68	13	4	NA	MIC
26639	1.58	-1.44	0.45	NA	NA	-0.65	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30	M	59	16	7	NA	MIC
6254	0.37	-0.55	-0.41	NA	NA	0.15	0.18	NA	NA	NA	NA	NA	233	F	61	14	5	56.63	MIC
8422	0.94	-0.97	NA	NA	NA	-0.02	-0.11	NA	NA	NA	NA	NA	77	M	71	11	3	33.21	MIC
10638	1.17	-0.45	0.84	NA	NA	-0.87	0.33	NA	NA	NA	NA	72.34	9	F	66	33	16	NA	CSR
13489	0.49	-0.75	NA	NA	NA	0.22	-0.21	NA	NA	NA	NA	NA	16	M	76	11	0	30.81	CSR
14584	0.90	-0.94	NA	NA	NA	-0.01	-0.14	NA	NA	NA	NA	NA	76	M	59	14	9	31.00	CCU
14772	0.28	-0.80	0.78	NA	NA	-0.70	-0.38	NA	NA	NA	NA	NA	292	M	64	15	3	23.63	CCU
20846	-0.10	-0.13	-0.82	NA	NA	0.61	0.16	NA	NA	NA	NA	NA	26	M	77	23	10	NA	MIC
22134	2.01	-0.68	NA	NA	NA	-1.51	0.46	NA	NA	NA	NA	56.59	285	M	67	30	18	27.98	CSR
22642	1.20	NA	NA	NA	NA	-0.51	0.20	NA	NA	NA	NA	76.93	7	M	67	15	9	28.83	CSR
23321	0.88	-0.58	0.87	NA	NA	-0.97	0.36	NA	NA	NA	NA	NA	43	F	83	22	8	23.41	CSR
23780	0.61	-0.99	NA	NA	NA	0.12	0.13	NA	NA	NA	NA	NA	45	M	77	15	9	30.41	CSR
24063	1.17	-0.92	NA	NA	NA	-0.20	-0.17	NA	NA	NA	NA	NA	12	F	65	17	10	44.52	CSR
24804	0.57	-0.99	NA	NA	NA	0.12	0.15	NA	NA	NA	NA	NA	181	M	72	13	2	27.67	CCU
308	-0.47	NA	NA	NA	NA	-0.31	-0.18	-0.27	-0.32	-0.07	NA	NA	289	F	30	12	9	NA	CCU
2514	-0.13	NA	NA	NA	NA	-0.13	-0.15	-0.14	NA	NA	NA	NA	62	M	69	15	12	21.35	MIC
8347	0.02	NA	NA	NA	NA	0.38	-0.09	0.08	-0.32	NA	NA	NA	24	M	69	13	6	25.83	MIC
10564	0.76	-0.97	NA	NA	NA	0.10	0.05	-0.18	NA	-0.13	NA	NA	109	M	62	15	7	4.04	CSR
11244	0.61	-0.89	NA	NA	NA	0.40	-0.12	-0.21	NA	NA	NA	NA	186	M	83	24	15	26.82	CCU
12171	-0.56	NA	NA	NA	NA	-0.46	-0.33	-0.35	-0.34	NA	NA	NA	21	M	69	15	4	26.94	MIC
12727	-0.11	NA	NA	NA	NA	-0.01	0.00	-0.02	0.23	NA	NA	NA	29	M	71	17	8	38.95	CSR
14544	0.86	-0.91	NA	NA	NA	-0.05	0.08	-0.28	NA	NA	NA	NA	21	F	29	14	6	28.94	CSR
15701	0.64	NA	NA	NA	NA	-0.08	0.12	-0.20	NA	NA	NA	NA	7	M	86	10	2	23.47	CSR
16827	2.07	-0.62	NA	NA	NA	-1.70	0.86	-0.28	NA	NA	NA	66.08	121	M	77	14	4	25.27	CSR
18995	0.79	-0.96	NA	NA	NA	0.27	-0.02	-0.20	NA	NA	NA	NA	18	M	88	11	6	NA	MIC

Table 1: ARIMA model coefficients and baseline characteristics among hypotensive patients included in simulation *(continued)*

subject_id	ar1	ma1	ma2	ma3	ma4	ar2	ar3	ar4	ar5	drift	ma5	intercept	hypo_event	gender	age	sapsi_first	sofa_first	bmi	care_
21258	-0.42	NA	NA	NA	NA	-0.35	-0.28	-0.25	-0.34	NA	NA	NA	49	M	68	11	6	32.23	CSRU
24508	0.25	NA	NA	NA	NA	-0.01	-0.01	0.13	-0.18	NA	NA	NA	6	M	65	27	15	24.84	CSRU
24828	1.35	-0.94	NA	NA	NA	-0.51	0.14	-0.11	NA	NA	NA	NA	83	M	47	13	9	24.29	MICU

Table 2: ARIMA model coefficients and baseline characterstics among nonhypotensive patients included in simulation

subject_id	ar1	ma1	ma2	ar2	ar3	ar4	ar5	ma3	intercept	ma4	ma5	drift	gender	age	sapsi_first	sofa_first	bmi	care_unit	admission_
1279	NA	-0.20	-0.18	NA	NA	NA	NA	-0.20	NA	NA	NA	NA	M	76	17	8	30.75	CSRU	ELECTIVE
3622	NA	-0.15	-0.31	NA	NA	NA	NA	0.17	NA	NA	NA	NA	F	52	16	7	56.45	MICU	EMERGEN
4565	NA	0.14	-0.12	NA	NA	NA	NA	-0.34	NA	-0.23	-0.23	NA	M	83	19	6	NA	MICU	EMERGEN
6233	NA	-0.27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	26	12	6	NA	MICU	EMERGEN
7172	NA	-0.55	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	60	7	0	NA	CCU	URGENT
9783	NA	-0.18	-0.38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	42	7	2	NA	MICU	EMERGEN
10086	NA	-0.24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	42	14	7	NA	CSRU	EMERGEN
10432	NA	-0.14	-0.24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	36	13	7	23.27	CSRU	ELECTIVE
10995	NA	-0.19	-0.10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	79	11	1	NA	CCU	URGENT
11907	NA	-0.96	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	53	14	5	NA	MICU	EMERGEN
12187	NA	-0.60	-0.08	NA	NA	NA	NA	0.05	NA	-0.05	-0.15	NA	F	45	10	0	NA	CSRU	ELECTIVE
12663	NA	-0.59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	76	14	1	25.95	CSRU	EMERGEN
13439	NA	-0.57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	51	18	13	24.36	MICU	EMERGEN
14899	NA	-0.23	-0.05	NA	NA	NA	NA	-0.35	NA	NA	NA	NA	M	74	19	9	22.19	CSRU	ELECTIVE
15531	NA	-0.71	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	64	12	9	26.65	CSRU	ELECTIVE
17785	NA	0.18	0.09	NA	NA	NA	NA	0.15	NA	0.16	0.33	NA	M	66	18	11	25.56	CCU	URGENT
17822	NA	-0.50	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	80	16	13	32.22	MICU	EMERGEN
17828	NA	-0.31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	75	10	1	20.45	CCU	EMERGEN
19297	NA	-0.55	-0.15	NA	NA	NA	NA	-0.04	NA	0.20	-0.32	NA	M	55	5	0	35.88	CSRU	EMERGEN
20403	NA	-0.53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	45	10	5	NA	MICU	EMERGEN
21048	NA	-0.39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	47	14	10	34.06	CSRU	EMERGEN
21481	NA	-0.11	-0.23	NA	NA	NA	NA	0.08	NA	-0.19	0.25	NA	M	39	5	1	22.98	CCU	EMERGEN
21797	NA	-0.39	-0.03	NA	NA	NA	NA	-0.14	NA	NA	NA	NA	M	63	6	1	NA	CCU	EMERGEN
22983	NA	-0.53	-0.11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	71	18	13	27.12	CSRU	EMERGEN
24457	NA	-0.45	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	47	7	3	26.91	CCU	URGENT
24605	NA	-0.21	-0.22	NA	NA	NA	NA	-0.11	NA	0.19	-0.15	NA	M	53	17	13	NA	MICU	EMERGEN
24924	NA	-0.91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	81	19	5	NA	CCU	URGENT
25988	NA	-0.26	-0.36	NA	NA	NA	NA	-0.13	NA	-0.13	0.16	0.07	F	36	11	7	NA	MICU	EMERGEN
26087	NA	-0.56	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	66	4	1	69.35	CCU	EMERGEN
26381	NA	-0.06	0.01	NA	NA	NA	NA	-0.23	NA	NA	NA	NA	M	50	15	8	22.87	CSRU	EMERGEN
26511	NA	-1.72	1.01	NA	NA	NA	NA	-0.59	NA	0.37	NA	NA	F	70	21	6	NA	MICU	EMERGEN
26604	NA	0.52	0.01	NA	NA	NA	NA	-0.33	NA	-0.45	-0.44	NA	F	93	13	7	NA	MICU	EMERGEN
123	0.61	-0.83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	56	12	2	NA	CCU	EMERGEN
318	0.72	-0.92	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	63	2	1	NA	CCU	EMERGEN
1217	0.53	-0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	53	13	8	33.25	CCU	EMERGEN
1378	0.80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	91.96	NA	NA	NA	F	60	13	0	NA	MICU	EMERGEN
2229	0.77	-0.98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	66	25	14	28.61	CCU	EMERGEN
2395	0.73	-0.93	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	79	19	11	43.62	CSRU	EMERGEN
3474	0.58	-0.77	0.19	NA	NA	NA	NA	-0.35	NA	NA	NA	NA	M	45	10	8	50.61	MICU	URGENT
3675	0.83	-0.96	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	71	15	6	24.13	CSRU	EMERGEN
4633	0.79	-0.90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	67	16	8	NA	MICU	EMERGEN
4656	0.43	-0.67	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	51	19	7	29.90	CSRU	EMERGEN
4870	0.77	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	103.03	NA	NA	NA	M	39	15	6	33.19	CSRU	EMERGEN
5198	0.40	-0.86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	97	16	8	NA	MICU	EMERGEN
6382	0.69	-0.92	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	37	17	8	26.64	CSRU	EMERGEN
6933	0.41	-0.42	-0.29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	37	22	10	NA	MICU	URGENT
7381	-0.36	-0.26	-0.71	NA	NA	NA	NA	0.34	NA	NA	NA	NA	F	66	19	9	55.89	MICU	URGENT
7842	0.79	-1.14	0.15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	71	17	14	NA	MICU	EMERGEN
8269	0.89	-0.59	-0.13	NA	NA	NA	NA	NA	72.53	NA	NA	NA	M	32	6	0	NA	CSRU	EMERGEN
10419	0.80	-0.92	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	60	10	4	26.41	CSRU	EMERGEN
11641	0.76	-0.95	-0.02	NA	NA	NA	NA	-0.05	NA	0.25	NA	NA	F	86	19	12	30.41	CSRU	ELECTIVE
12565	0.42	-0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	75	14	5	27.17	CSRU	ELECTIVE
12968	0.15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	76.51	NA	NA	NA	M	67	21	5	NA	MICU	EMERGEN
13646	0.69	0.35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	77.45	NA	NA	NA	F	74	14	10	NA	MICU	EMERGEN
13818	0.41	-0.52	-0.26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	68	9	1	NA	CCU	EMERGEN
14539	0.79	-0.95	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	63	5	1	31.16	CCU	EMERGEN
14626	0.52	-0.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	69	16	7	31.42	CSRU	ELECTIVE
15144	0.92	0.02	-0.20	NA	NA	NA	NA	-0.23	79.16	NA	NA	NA	M	55	11	4	27.42	CSRU	EMERGEN
16117	0.51	-0.64	-0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	82	12	10	NA	MICU	EMERGEN
16353	0.72	-0.85	0.05	NA	NA	NA	NA	-0.18	NA	NA	NA	NA	M	55	20	12	28.45	CSRU	URGENT
18377	-0.17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	62	21	9	23.46	CSRU	EMERGEN
18487	0.75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	83.25	NA	NA	NA	M	45	1	2	26.44	CSRU	ELECTIVE
18489	-0.91	1.14	0.17	NA	NA	NA	NA	0.10	NA	0.18	NA	NA	M	61	12	7	NA	MICU	EMERGEN
19220	-0.47	0.62	-0.12	NA	NA	NA	NA	-0.35	NA	-0.33	NA	NA	F	68	19	8	NA	CSRU	EMERGEN
19430	0.70	-0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	52	10	5	24.33	CSRU	ELECTIVE
19513	0.89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	77.32	NA	NA	NA	M	73	15	5	29.16	CCU	EMERGEN
20303	0.74	-0.87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	63	7	0	34.66	CCU	EMERGEN
20689	0.63	0.30	0.17	NA	NA	NA	NA	NA	77.10	NA	NA	NA	M	53	19	9	31.99	CCU	EMERGEN
21088	0.69	-0.93	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	77	20	18	NA	MICU	EMERGEN
21161	0.65	-0.91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	65	19	5	24.36	CSRU	ELECTIVE
22491	0.84	-0.97	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	77	11	6	NA	MICU	ELECTIVE
23130	0.52	-0.79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	67	21	11	34.30	MICU	EMERGEN
23166	0.62	-0.79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	51	7	5	41.63	CCU	EMERGEN
23619	0.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	89.39	NA	NA	NA	M	78	22	6	NA	MICU	EMERGEN
24532	0.90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	77.05	NA	NA	NA	M	67	14	4	25.74	CSRU	ELECTIVE
25271	0.47	-0.90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	80	13	3	NA	CCU	URGENT
26054	0.88	-0.72	-0.24	NA	NA	NA	NA	-0.03	NA	NA	NA	NA	M	53	15	10	29.30	CSRU	EMERGEN
26097	0.62	-0.45	-0.29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	43	10	12	47.79	MICU	EMERGEN

Table 2: ARIMA model coefficients and baseline characterstics among nonhypotensive patients included in simulation *(continued)*

subject_id	ar1	ma1	ma2	ar2	ar3	ar4	ar5	ma3	intercept	ma4	ma5	drift	gender	age	sapsi_first	sofa_first	bmi	care_unit	admission_
26296	0.67	-1.01	0.19	NA	NA	NA	NA	0.27	NA	-0.33	NA	NA	M	48	14	6	NA	CCU	EMERGEN
1551	0.69	-0.86	NA	-0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	38	9	10	NA	MICU	EMERGEN
3498	1.72	-1.85	0.96	-0.84	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	63	14	6	37.46	CCU	EMERGEN
3986	0.43	-0.95	NA	0.36	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	66	9	1	NA	MICU	EMERGEN
5686	1.65	-0.72	NA	-0.71	NA	NA	NA	NA	78.65	NA	NA	NA	M	61	16	8	44.62	CSRU	ELECTIVE
5960	-0.34	NA	NA	-0.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	88	14	8	29.03	CCU	URGENT
6256	0.82	-0.95	NA	-0.31	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	39	4	0	NA	CCU	ELECTIVE
6335	1.54	NA	NA	-0.64	NA	NA	NA	NA	80.52	NA	NA	NA	M	82	13	9	23.45	CSRU	ELECTIVE
6561	-0.16	0.04	-0.83	0.59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	68	9	1	25.07	CCU	EMERGEN
6601	1.02	-0.94	NA	-0.24	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	53	27	13	NA	MICU	ELECTIVE
8249	-0.15	NA	NA	0.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	78	19	6	NA	CCU	EMERGEN
9268	1.84	-1.95	0.96	-0.87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-0.09	F	56	14	5	31.53	MICU	EMERGEN
10069	-0.13	NA	NA	-0.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	41	12	7	NA	CCU	EMERGEN
11703	-0.22	NA	NA	-0.16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	76	20	5	24.29	CSRU	ELECTIVE
14036	1.13	-0.97	NA	-0.26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	61	17	8	27.40	CSRU	EMERGEN
14495	0.30	-0.90	NA	0.28	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	55	8	0	26.14	CCU	EMERGEN
14900	1.92	-1.10	0.14	-0.93	NA	NA	NA	NA	85.32	NA	NA	NA	M	47	12	6	22.27	CSRU	ELECTIVE
15021	1.88	-1.16	0.23	-0.90	NA	NA	NA	NA	81.85	NA	NA	NA	F	74	21	8	23.67	CSRU	ELECTIVE
15465	0.77	-0.98	NA	0.11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	68	9	3	20.91	CCU	EMERGEN
16677	0.84	-0.91	NA	-0.12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	46	8	1	NA	CCU	EMERGEN
17293	0.77	-0.74	NA	-0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	39	6	2	NA	CCU	EMERGEN
20589	1.73	-1.97	1.29	-0.83	NA	NA	NA	-0.26	NA	NA	NA	NA	M	54	22	9	32.56	CSRU	ELECTIVE
21570	1.43	-0.60	0.01	-0.51	NA	NA	NA	0.23	101.94	NA	NA	NA	F	40	6	1	NA	MICU	ELECTIVE
23594	-0.05	NA	NA	-0.14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	73	18	10	NA	MICU	EMERGEN
24124	1.01	-1.12	0.92	-0.80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	57	16	7	31.42	CSRU	EMERGEN
24406	1.89	-0.92	-0.17	-0.91	NA	NA	NA	0.20	81.45	NA	NA	NA	F	43	12	6	44.84	CSRU	EMERGEN
24446	1.44	-1.24	0.48	-0.75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	88	12	1	20.91	CCU	EMERGEN
24746	0.89	-0.85	NA	-0.13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	71	17	15	33.45	MICU	EMERGEN
25073	1.32	-1.11	0.78	-0.90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	78	16	9	34.76	MICU	EMERGEN
26693	-1.87	1.82	0.79	-0.95	NA	NA	NA	-0.09	NA	NA	NA	NA	F	66	10	0	17.22	MICU	EMERGEN
5307	0.86	NA	NA	0.16	-0.13	NA	NA	NA	94.35	NA	NA	NA	M	81	17	8	34.38	CCU	EMERGEN
13570	1.11	-0.87	NA	-0.17	-0.14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	59	11	5	30.59	CSRU	EMERGEN
16691	1.91	-0.72	NA	-1.31	0.37	NA	NA	NA	73.17	NA	NA	NA	M	29	24	20	27.92	MICU	EMERGEN
17054	-0.25	NA	NA	-0.23	-0.26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	73	14	5	NA	CCU	EMERGEN
22322	0.98	-1.67	0.78	-0.19	-0.17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	77	9	0	NA	MICU	ELECTIVE
549	0.18	NA	NA	-0.14	0.03	-0.32	0.11	NA	NA	NA	NA	NA	F	76	17	11	NA	MICU	URGENT
6053	-0.39	NA	NA	-0.15	-0.18	-0.20	0.22	NA	NA	NA	NA	NA	M	57	14	10	NA	CCU	EMERGEN
12267	0.17	NA	NA	-0.13	0.10	0.12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	75	8	4	21.61	MICU	EMERGEN
17691	0.19	-0.80	NA	-0.05	0.18	-0.37	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	35	4	1	30.56	CSRU	EMERGEN
22673	0.44	-0.97	NA	0.09	0.07	0.14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	60	11	8	34.06	CCU	EMERGEN
24597	-0.32	NA	NA	-0.27	-0.21	-0.19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	75	24	14	30.14	CSRU	ELECTIVE
26382	-0.17	NA	NA	-0.38	-0.17	-0.37	NA	NA	NA	NA	NA	NA	F	70	11	1	NA	CCU	EMERGEN

3 Simulate from ARIMA models

We use the ARIMA models included in the simulation to simulate 600 minute time series with `forecast::simulate`.

- By default, the error series is assumed normally distributed and generated using `rnorm`. However, we set `bootstrap=TRUE`, so the residuals are resampled instead. Also, we set `future=TRUE`, so the sample paths are conditional on the data that was used to fit the model.
- When `future=FALSE` and the model is stationary, the sample paths do not depend on the data at all. When `future=FALSE` and the model is non-stationary, the location of the sample paths is arbitrary, so they all start at the value of the first observation.

Each subject considered for simulation has their own corresponding ARIMA model fit. We could simulate "many-to-one" by simulating from one individuals model several times to create some noise. For now, we just simulate "one-to-one". That is, we create one simulated data for each ARIMA model.

4 Fit combined super learner

We fit the combined (global and individual) super learner across a range of training data lengths. Also, we fit the combined super learner to simulated data from

1. patients that experienced a hypotensive event,
2. patients that did not experience a hypotensive event, and
3. all patients included in the simulation.

We train the global super learner with baseline covariates, and with and without correlation-based screening of baseline covariates. We include the following baseline covariates:

- gender
- age
- care_unit
- sapsi_first
- sofa_first
- admission_type_descr

The combined online super learner also uses the individual super learner, which learns only from one sample at a time. For the individual super learner, we incorporate the following:

- baseline covariates mentioned above
- rolling origin cross-validation for the time series with
    - initial training set size 10 minutes
    - test set size 10 minutes
    - increase training set size by increments of 5 minutes

For the combined super learner, we incorporate a gap of 30 minutes between the last trained time point and the first prediction time point.

For the base learning library, we consider 8 variations of xgboost.

Note that the global super learner does incorporate the subject id when creating the fold structure, but does not incorporate the rolling origin cross-validation procedure because that functionality has not been developed quite yet.

4.1 How should the combined super perform given the simulated data?

Since an individual model was fit to each subject, we would imagine that the individual super learner would consistently outperform the global super learner. However, we did incorporate the baseline covariates in the combined super learner, so the global super learner could still perform OK if it picks up signals across samples that can be explained by the baseline covariates. Alternatively, if we fit one ARIMA model to all subjects, then we would expect the global super learner to outperform the individual.

5 Calculate performance metrics of combined super learner

We evaluate the performance of the combined super learner for each sample individually, so learner weights are individualized. The global super learner will be the same for all samples, but the individual super learner will vary across samples.

The function that allocates weights to the base learners assigns a coefficient based on all of the predictions, and thus does not consider the time-specific nature to the predictions.

The loss of the combined super learner is a sum over all of the samples, evaluated only over the validation time points, a 30 minute horizon.

Next steps

- Create simulations where global super learner should outperform individual.
- Add rolling origin cross-validation to global super learner, while still pooling subjects.

- Incorporate continuous super learner to the individual super learner.