

# Vector Autoregression (VAR) of Longitudinal Sleep and EMA Mood Data

Jeff Brozena

BROZENA@PSU.EDU

**Editor:** Could use one

## Abstract

Self-tracking is one of many self-management behaviors commonly associated with the long-term management of chronic illnesses. As consumer-grade wearable sensors have rendered the collection of health-related behaviors commonplace, the quality, volume, and availability of such data has dramatically improved. This exploratory longitudinal N-of-1 study quantitatively assesses four years of sleep data captured via the Oura Ring, a consumer-grade sleep tracking device, and self-reported mood data captured during the same period. After assessing the data for stationarity and computing the appropriate lag-length selection, a vector autoregressive (VAR) model was employed with Granger causality tests to assess the causal mechanisms within this time series. Nightly sleep quality scores were shown to Granger cause self-reported presence of depressed mood using a VAR(3) model.

## 1 Introduction

Cras at ligula ex. Mauris dapibus ac augue in vestibulum. Curabitur facilisis arcu in ipsum iaculis vehicula. Nunc libero dolor, aliquam ut diam vel, interdum imperdiet dui. Etiam hendrerit enim eu felis dignissim finibus. Etiam a molestie dui, pellentesque feugiat ex. Sed sit amet risus ut libero efficitur rhoncus. Ut vitae sapien eget felis sollicitudin fringilla. Duis bibendum massa a arcu fermentum euismod non et leo.

Nunc efficitur, leo eget tristique dapibus, leo eros accumsan lacus, eget porta ipsum purus in mi. Etiam facilisis lectus vehicula, sagittis libero nec, bibendum dui. Fusce pulvinar in urna in volutpat. Etiam blandit odio lacus, quis dapibus risus iaculis facilisis. Fusce sagittis urna sem, vel dapibus ligula pellentesque eu. Quisque euismod massa nec elementum porta. Pellentesque vel eleifend est. Praesent gravida suscipit arcu, a rutrum dui. Sed a ultrices mi. Nunc vitae dolor purus. Curabitur sed dictum odio.

Quisque aliquam tempus commodo. Pellentesque at urna lectus. Vivamus ac sapien dapibus, placerat lacus eu, ullamcorper lectus. Duis in egestas dui. Nullam et tristique magna. Quisque et mauris ullamcorper, bibendum erat in, ullamcorper erat. Praesent blandit massa ornare, posuere dui at, tincidunt dolor. Nullam iaculis felis nec metus tincidunt, non sodales nibh venenatis.

Nunc aliquet diam nibh, sit amet pharetra metus luctus at. Maecenas tincidunt ipsum auctor dolor elementum lobortis. Vestibulum erat sem, bibendum a laoreet nec, scelerisque a odio. Etiam luctus leo erat, ac ornare quam porta at. Mauris ornare et lacus quis rutrum. Nulla facilisi. Phasellus consectetur tortor mauris, at pellentesque dui iaculis interdum. Sed ut sem nec eros sodales pulvinar. Sed id nibh vehicula, congue nulla eu, aliquet mauris. Donec vitae eros vel nunc aliquet blandit accumsan at nunc. Duis accumsan risus quis euismod ultrices. Vivamus pretium velit elit, at tincidunt tortor semper et. Nullam porttitor purus in faucibus rutrum. Quisque a nunc ex.

In gravida dictum turpis sit amet luctus. Quisque congue, est eget porttitor malesuada, justo tellus consectetur tortor, eu suscipit ante lectus eget odio. Ut eget euismod eros, vitae mollis ante. Cras eleifend fringilla ante quis placerat. Morbi dignissim ante lectus, at facilisis nunc eleifend id. Sed felis risus, venenatis sit amet massa id, porta finibus velit. Fusce mattis faucibus ante quis blandit. Phasellus iaculis rutrum quam, id iaculis augue cursus nec. Curabitur eu velit sapien.

Phasellus ligula lacus, cursus a felis a, aliquam dapibus massa. Nulla sollicitudin viverra elementum. Nulla facilisi. Etiam felis augue, consectetur vitae commodo placerat, aliquet sed nulla. Nunc urna libero, eleifend nec aliquet fringilla, vehicula nec tortor.

Donec scelerisque, nisl laoreet viverra euismod, lacus sem ultrices felis, vel suscipit justo est eu nisl. Phasellus consequat aliquam ultrices. Cras eleifend tortor vel tortor convallis, ac imperdiet metus accumsan. Aenean condimentum vehicula sapien eget molestie. Maecenas a ultricies est. Duis congue posuere nunc pharetra iaculis. Donec lacinia nisl turpis, ac bibendum lorem dictum ut. Pellentesque elementum faucibus urna in ultricies. Nunc at ullamcorper mi, ut pellentesque mauris.

Nunc quis laoreet odio. Maecenas sit amet leo pharetra, venenatis risus a, auctor diam. Quisque nulla ligula, accumsan ac convallis sed, facilisis eu tortor. Vestibulum euismod arcu at est porttitor eleifend eget sit amet eros. Mauris felis eros, mollis vitae ornare id, congue non leo. Integer posuere elit nulla, et sagittis ante sagittis ut. Suspendisse potenti. Nulla vestibulum varius mauris at gravida. Duis sed ante a velit congue faucibus. Donec efficitur eros ac lorem euismod aliquam. Ut pharetra, urna vitae sagittis ultrices, ante augue rutrum velit, non tincidunt urna arcu et neque. Cras eleifend posuere nibh vel rutrum. Fusce eu purus dignissim, egestas dolor quis, congue est.

Aliquam tristique, sem id venenatis pellentesque, elit ante auctor arcu, ac commodo tellus ante vel massa. Praesent placerat tristique tellus sed elementum. Etiam vehicula dolor non libero blandit, eu scelerisque felis pulvinar. Ut ac bibendum ante. Integer consequat, nisi in placerat dictum, nibh tellus feugiat est, id tristique risus magna venenatis lectus. Nulla viverra nulla mi, in feugiat velit pharetra dictum. Proin id viverra mauris. Morbi a pellentesque nisl, at volutpat ligula. Donec tristique facilisis felis, et euismod mauris. Suspendisse ac massa quis augue pharetra vestibulum ac ut mi. Phasellus efficitur dignissim nisl. Vivamus ornare ex vel dui rutrum convallis. Sed nec urna fermentum augue facilisis ultricies.

Pellentesque finibus, felis ut ullamcorper pretium, sem risus tempor risus, ac vestibulum nibh est eu eros. Nunc ut nibh aliquam, tincidunt nulla nec, ultricies ante. Quisque in neque dui. Phasellus tincidunt pretium condimentum. Sed blandit, orci et dictum dapibus, nisi elit maximus urna, vel varius risus velit at nulla. Fusce malesuada sem vel neque suscipit maximus. Morbi id sem non dolor molestie elementum. Proin a ultricies ex. Nulla at sapien mattis, lacinia quam eu, placerat sapien. Vestibulum eget iaculis sapien. Morbi urna ligula, sagittis in orci ac, rutrum fermentum tortor. Mauris at eros sit amet enim vulputate bibendum ut eget tellus.

## 2 Methods

Nam eu varius lacus. Aliquam ultricies diam id nibh vehicula consectetur. Nullam euismod felis a aliquam iaculis. Quisque nibh enim, varius a porta lacinia, lobortis vel nisl. Vestibulum molestie nunc et luctus dapibus. Phasellus eget lectus id ligula sollicitudin consequat et a nunc. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per confaubia nostra, per inceptos himenaeos. Praesent eros magna, tempor vitae justo condimentum, consectetur fermentum magna. Praesent commodo mauris non massa pulvinar, vitae blandit sem eleifend. Vivamus varius eu nisi in volutpat. Aliquam scelerisque nunc vel orci euismod suscipit.

### 2.1 Vector Autoregression

Pellentesque est dolor, porttitor sed est at, interdum elementum diam. Sed bibendum enim ante. Sed vestibulum diam at arcu tincidunt, quis aliquet dui lobortis. Donec ultricies ipsum ac eros sodales, et placerat massa suscipit. Etiam luctus arcu quis blandit auctor. In ultricies nisi dignissim enim finibus, sit amet fringilla dolor facilisis. Donec sit amet lectus eu lorem porta vehicula. Cras vel ex vehicula, fermentum mi sed, aliquet ante. Maecenas gravida odio eget mi iaculis, non scelerisque tortor ornare.

## 2.2 Granger Causality

Nunc eget risus nec odio commodo feugiat nec ac arcu. Maecenas laoreet lorem ut mi tristique ultricies. Maecenas lacinia fermentum euismod. Praesent quis ornare urna. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Nunc non ornare risus. Nunc vulputate risus a dapibus eleifend. Aenean justo lacus, dignissim eget gravida sed, laoreet eu neque. Vivamus volutpat risus non ligula feugiat sollicitudin. Ut nec porttitor ipsum.

## 2.3 Impulse Response Analysis

Nulla lobortis neque blandit dui tristique placerat. Cras a tempor leo, nec vulputate libero. Vivamus efficitur ipsum sit amet enim pretium, eget consequat turpis luctus. Aenean mattis velit vitae odio lobortis, ut sodales augue posuere. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Vestibulum ac accumsan eros, a mattis lacus. Sed in lectus felis. Fusce quis dui odio. Integer tincidunt vitae tortor a tempus. Nam venenatis eros rutrum quam tristique finibus. Nullam varius vel massa at iaculis. Morbi condimentum, loremh non tempus auctor, mauris arcu tempus libero, ac venenatis odio enim at odio. Maecenas egestas sit amet lorem in aliquet. Aenean nec eros ante.

## 3 Results

Nullam non risus augue. Nunc commodo pharetra eros, non condimentum sem ultrices ut. Nunc pharetra enim eget commodo pharetra. Pellentesque ultricies placerat bibendum. Donec ligula ex, rhoncus vitae finibus eget, malesuada in massa. Nam porta varius ex ac ullamcorper. Vivamus eget neque sit amet ex semper elementum. Aliquam erat volutpat. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Morbi semper ultricies ex, in eleifend erat congue a. Nunc et venenatis sapien. Aliquam vel lectus scelerisque, pellentesque enim ac, sagittis erat. Praesent molestie, velit eget pretium venenatis, est nisl rutrum orci, ut placerat leo odio in nulla. Sed bibendum nunc libero, in vestibulum metus hendrerit at.

### 3.1 Stationarity, Decomposition, and Autocorrelation

Sed ut lobortis ligula. Nunc vel justo cursus, consequat lectus vel, accumsan libero. Etiam lectus nisl, varius in feugiat nec, varius id ligula. Fusce scelerisque pharetra nisl. Maecenas in finibus nisl, in sagittis dolor. Fusce dictum cursus condimentum. Nullam posuere mauris vel odio pulvinar auctor. Nullam ante tellus, semper non scelerisque et, faucibus quis urna. Duis pulvinar metus vel eleifend aliquet. Aenean cursus nunc vitae porttitor malesuada.

Sed ut lobortis ligula. Nunc vel justo cursus, consequat lectus vel, accumsan libero. Etiam lectus nisl, varius in feugiat nec, varius id ligula. Fusce scelerisque pharetra nisl. Maecenas in finibus nisl, in sagittis dolor. Fusce dictum cursus condimentum. Nullam posuere mauris vel odio pulvinar auctor. Nullam ante tellus, semper non scelerisque et, faucibus quis urna. Duis pulvinar metus vel eleifend aliquet. Aenean cursus nunc vitae porttitor malesuada.

Sed ut lobortis ligula. Nunc vel justo cursus, consequat lectus vel, accumsan libero. Etiam lectus nisl, varius in feugiat nec, varius id ligula. Fusce scelerisque pharetra nisl. Maecenas in finibus nisl, in sagittis dolor. Fusce dictum cursus condimentum. Nullam posuere mauris vel odio pulvinar auctor. Nullam ante tellus, semper non scelerisque et, faucibus quis urna. Duis pulvinar metus vel eleifend aliquet. Aenean cursus nunc vitae porttitor malesuada.

### 3.2 Lag Order Selection

In congue tristique fermentum. Morbi eleifend tortor justo, sed iaculis ante posuere vitae. Quisque sagittis ex sit amet mi sollicitudin tempor vel in ligula. Morbi porta tincidunt diam, non accumsan

EMA Item	Count
irritable	100
anxious	88
depressed	103
elevated	48

Table 1: Number of days where EMA item contains a non-zero value

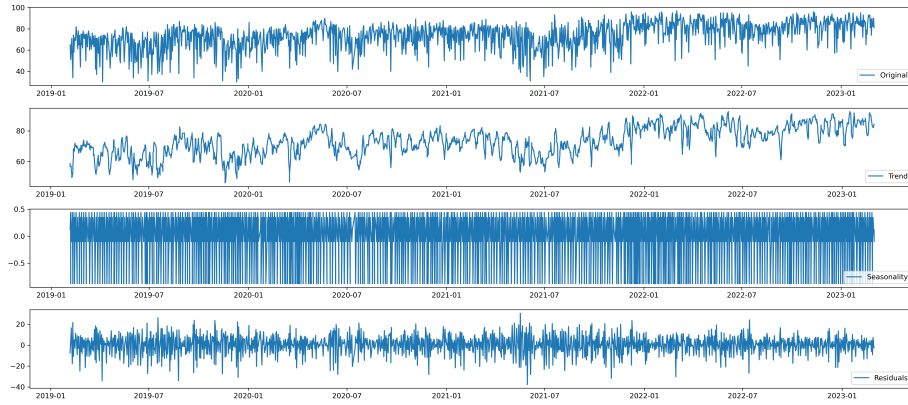


Figure 1: Decomposition of sleep time series

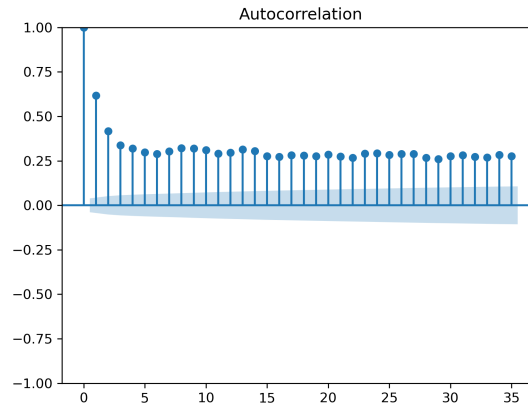


Figure 2: Autocorrelation of sleep time series

lorem maximus eget. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut tristique leo, eu facilisis massa. Maecenas sed nibh hendrerit, rutrum ipsum sit amet, tempus velit. Ut venenatis dolor nisi, vel egestas est convallis ut. Nulla facilisi. Aenean vestibulum malesuada eleifend. Sed pulvinar elementum maximus. Fusce vulputate justo vel est accumsan luctus. Nulla rhoncus nisi at lacus scelerisque, et pharetra elit interdum. Donec non ante ac nulla commodo euismod a et neque.

	AIC	BIC	FPE	HQIC
<b>0</b>	7.314	7.342	1501.	7.325
<b>1</b>	6.080	6.279*	436.9	6.155*
<b>2</b>	6.035	6.404	417.7	6.175
<b>3</b>	6.028*	6.568	414.9*	6.233
<b>4</b>	6.055	6.765	426.1	6.324
<b>5</b>	6.056	6.936	426.6	6.390
<b>6</b>	6.066	7.118	431.2	6.465
<b>7</b>	6.071	7.293	433.3	6.534
<b>8</b>	6.104	7.496	447.6	6.631
<b>9</b>	6.131	7.694	460.4	6.724
<b>10</b>	6.130	7.863	459.6	6.787
<b>11</b>	6.129	8.032	459.5	6.851
<b>12</b>	6.158	8.232	473.0	6.944
<b>13</b>	6.177	8.421	482.2	7.028
<b>14</b>	6.201	8.616	494.2	7.117
<b>15</b>	6.213	8.798	500.3	7.193

Table 2: VAR Order Selection (\* highlights the minimum)

Cras pretium imperdiet sem id euismod. In blandit pharetra urna. Integer molestie eleifend ex, nec tincidunt sapien ullamcorper sit amet. Fusce dictum purus elit, ut sagittis diam viverra nec. Vestibulum erat felis, placerat ac ligula eu, dictum lacinia lacus. Maecenas mollis augue sem, sit amet tincidunt ex fringilla ac. Pellentesque vel metus ipsum. Sed sit amet nisi vitae tellus consectetur vulputate. Proin aliquam quam at purus tincidunt, ut pharetra ante posuere. Morbi viverra lacinia leo, ac malesuada eros aliquam vitae. Vivamus vitae nisl dictum, laoreet nisi sed, dapibus odio.

### 3.3 Vector Autoregression Model

Sed id feugiat tortor. Duis arcu lorem, rutrum ut nunc quis, bibendum mollis metus. In pulvinar ut mauris in malesuada. Curabitur eu massa aliquam, laoreet dui maximus, porta tellus. Aliquam erat volutpat. Proin quis lectus nisl. Mauris sagittis bibendum elit eu accumsan. Aliquam ut dui faucibus, dictum magna id, venenatis metus. Mauris ex mi, tempor vel nunc eu, placerat placerat nunc. Cras facilisis varius bibendum. Sed sollicitudin vel sem in maximus. Aenean aliquam sem ac arcu lacinia, vitae bibendum mauris malesuada. Praesent ac imperdiet erat. Maecenas tincidunt sed sem ac porta. Phasellus in justo orci.

Vestibulum sit amet faucibus purus. Proin ornare nisi et purus pellentesque mollis. Mauris aliquet metus sed sem blandit, quis accumsan justo blandit. Donec vitae lectus commodo, placerat tellus sed, interdum ex. Suspendisse potenti. Suspendisse tincidunt, enim in convallis sollicitudin, metus orci facilisis ex, non tristique nunc est ac magna. Aenean ut lorem interdum dui dictum venenatis. Nullam hendrerit placerat mauris, et tempor neque convallis vitae. Pellentesque vitae ligula id elit hendrerit dapibus. Suspendisse lobortis, dui id ultrices viverra, lorem arcu ornare dui,

	coefficient	std. error	t-stat	prob
const	33.675538	2.896460	11.626	0.000
L1.score	0.507601	0.031112	16.315	0.000
L1.average_hrv	-0.050172	0.022424	-2.237	0.025
L1.anxious	-0.078201	0.494593	-0.158	0.874
L1.depressed	0.615468	0.457538	1.345	0.179
L1.irritable	-0.015195	0.457422	-0.033	0.973
L1.elevated	-0.150473	0.729563	-0.206	0.837
L2.score	-0.020902	0.034834	-0.600	0.548
L2.average_hrv	-0.027687	0.022370	-1.238	0.216
L2.anxious	0.178654	0.540249	0.331	0.741
L2.depressed	1.427585	0.490653	2.910	<b>0.004</b>
L2.irritable	-0.634113	0.500474	-1.267	0.205
L2.elevated	-0.164427	0.771205	-0.213	0.831
L3.score	0.117166	0.031157	3.760	0.000
L3.average_hrv	-0.023210	0.022319	-1.040	0.298
L3.anxious	0.003463	0.492368	0.007	0.994
L3.depressed	0.152999	0.458520	0.334	0.739
L3.irritable	0.406833	0.457032	0.890	0.373
L3.elevated	-0.805440	0.732522	-1.100	0.272

Table 3: VAR results for equation score

faucibus vehicula tortor erat sed ex. Morbi ac dolor ut nunc fringilla facilisis nec lobortis urna. Nullam ac tempus turpis.

### 3.4 Granger Causality

Causal Variable	Variable	Test statistic	Critical value	p-value	df
average_hrv	depressed	1.541	2.606	0.202	(3, 6234)
average_hrv	anxious	0.3879	2.606	0.762	(3, 6234)
average_hrv	irritable	0.8046	2.606	0.491	(3, 6234)
average_hrv	elevated	0.6640	2.606	0.574	(3, 6234)
<b>score</b>	<b>depressed</b>	5.155	2.606	<b>0.001</b>	(3, 6234)
score	anxious	2.432	2.606	0.063	(3, 6234)
score	irritable	1.311	2.606	0.269	(3, 6234)
score	elevated	0.7891	2.606	0.500	(3, 6234)

Table 4: Granger Causality Test for HRV and Sleep Score

### 3.5 Impulse Response Analysis

## 4 Discussion

Fusce consectetur accumsan tincidunt. Donec mollis odio at purus convallis tristique. Phasellus maximus quis tortor quis vehicula. Vivamus eget aliquam odio. Etiam efficitur feugiat aliquet. Cras sit amet turpis id nunc interdum placerat. Duis neque nibh, auctor nec eleifend in, pellentesque eget massa. Duis efficitur urna urna, at commodo massa efficitur sit amet. Curabitur tincidunt justo

sem, sit amet hendrerit nisi dictum vitae. Ut sed sagittis dolor, vel aliquam urna. Ut placerat lorem non vehicula vehicula. Pellentesque sed justo sodales, blandit orci eget, porta sapien.

Donec pellentesque ut ipsum rhoncus venenatis. Aliquam eu nisi vel urna pharetra mollis. Nulla eget tempus odio. Sed iaculis diam sit amet accumsan suscipit. Fusce finibus arcu a purus feugiat, at vehicula sapien venenatis. Etiam fermentum lacus nisl, dictum efficitur enim fermentum id. Donec accumsan id arcu eu rhoncus. Donec sed magna posuere, efficitur est eleifend, suscipit nisl. Cras semper sollicitudin condimentum.

Nulla eleifend eros sodales elit mattis varius vel sed felis. Sed eu elit ligula. Pellentesque consectetur arcu at tortor hendrerit venenatis. Praesent luctus dolor eros, mattis pellentesque neque consectetur eu. Sed iaculis porttitor quam, varius blandit ligula. Sed justo ante, laoreet in mattis sit amet, fringilla id lectus. Integer egestas sem ut tortor gravida, a suscipit orci semper.

Nam placerat pellentesque lorem vel iaculis. Aenean congue, nibh ut mattis pharetra, eros velit mattis enim, consequat rutrum velit justo sed leo. Curabitur pretium molestie iaculis. Sed malesuada malesuada nisl nec feugiat. Quisque eu congue erat, id interdum justo. Nam fringilla condimentum tempus. Ut nec eros hendrerit, pulvinar sapien ac, molestie nunc. Maecenas mattis ultricies augue, quis lacinia massa laoreet et. Etiam ut massa vel metus mollis ultrices. Mauris bibendum neque et lectus vestibulum dapibus. Mauris quis lorem eu est tincidunt lacinia.

Integer felis massa, rhoncus quis sagittis quis, fringilla non lorem. Pellentesque feugiat eu nibh eu luctus. Duis faucibus hendrerit justo, ac condimentum turpis viverra non. Suspendisse egestas et risus sit amet luctus. In varius quam efficitur nulla efficitur sodales eget in purus. Quisque sagittis erat nec bibendum eleifend. Integer gravida nibh a commodo finibus. Nam semper sapien at mauris efficitur pretium. Phasellus quis egestas nunc.

Cras egestas, diam id fringilla suscipit, arcu ex vehicula nisl, quis efficitur nibh neque cursus massa. Suspendisse nulla metus, scelerisque id sodales eu, bibendum et elit. Curabitur in tempor velit. Aliquam cursus eget tortor a ornare. Nam nec eleifend lectus. Morbi viverra, ante vel imperdiet tincidunt, dui leo mattis sapien, ullamcorper aliquam dolor eros vitae nibh. In metus ipsum, ullamcorper ac magna ut, condimentum egestas magna. Nulla eu varius libero, eget condimentum orci. Curabitur dapibus lorem ac vulputate euismod. Maecenas nec enim ac lectus rutrum maximus eget ac elit. Praesent tellus sapien, sagittis nec sagittis at, interdum ac nisi.

Curabitur vitae scelerisque magna. Nullam aliquet eleifend mi id ullamcorper. Nullam nunc nisi, auctor vitae eros a, facilisis fermentum purus. In malesuada risus quis urna tincidunt, id cursus quam dictum. Curabitur id tellus arcu. Cras rutrum euismod ipsum vel bibendum. Nulla sit amet est velit. Praesent ac urna suscipit, porta lectus vel, bibendum est. Nam vel urna efficitur, placerat risus in, viverra velit. Mauris tincidunt eget neque ac pharetra. Morbi nec lobortis massa.

Fusce at tortor sit amet ex pretium vulputate ut finibus odio. Suspendisse eget metus rhoncus neque porta bibendum. Curabitur tristique mauris at auctor efficitur. Morbi accumsan euismod vehicula. Proin in arcu nisi. Suspendisse scelerisque posuere tortor, ut consectetur turpis sagittis vel. Proin id nulla interdum, dapibus ante eget, vestibulum justo. Quisque ultrices augue vitae rutrum ornare. Phasellus sed bibendum diam, ac volutpat nisi. Praesent at efficitur mauris. Aliquam ultricies diam nec magna auctor euismod. Quisque mattis eros arcu, sit amet dictum lacus vehicula consectetur. Donec eget elementum mi, id euismod arcu. Sed in est sed ipsum sodales pretium. Integer leo est, condimentum id lectus vitae, facilisis pulvinar lorem.

Nullam laoreet congue quam at rutrum. Aliquam auctor elit et tempor tempus. Vivamus id ex cursus sem tristique viverra et convallis augue. Pellentesque id viverra urna. Vestibulum vel tellus eu nibh congue feugiat. Maecenas a vulputate dui. Nam placerat, dui et laoreet interdum, mauris odio maximus felis, in rhoncus quam sem nec turpis. Donec at diam neque. In at ipsum dignissim, sodales metus ac, aliquet sapien. Praesent non turpis vitae massa dignissim finibus sed id elit. Integer aliquam nisl lobortis augue consectetur pretium. Donec euismod vehicula leo, sit amet tristique enim sodales eu. Mauris eget purus rhoncus, placerat lectus eu, molestie nulla. Vestibulum purus odio, gravida eu est vel, consequat semper elit.

Suspendisse potenti. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Nunc tempor ligula vel volutpat rutrum. Proin blandit diam in velit rutrum porta. Nullam vitae nisl quis elit luctus auctor sollicitudin et odio. Fusce suscipit odio venenatis nunc malesuada, ac finibus nisi tristique. Curabitur a dignissim ipsum, quis egestas massa. Nulla eget laoreet urna, dignissim mattis mi. Sed quam leo, venenatis sit amet sem non, tincidunt pulvinar lectus.

Nam lorem diam, vehicula a lacus sed, dictum fringilla ex. Nam eget dapibus ex, nec dignissim velit. Pellentesque mollis justo ante, in scelerisque velit imperdiet eu. Vestibulum semper quis ligula ut sollicitudin. In varius aliquam egestas. Mauris consequat, ex vitae ullamcorper pharetra, justo purus dignissim sapien, in dapibus tellus sem quis dolor. Sed vitae massa purus. In id tristique libero, sit amet rutrum nunc. Donec at semper urna. Proin convallis diam a arcu luctus laoreet. Proin at justo metus. Donec luctus varius elit a ultricies.

Donec convallis lacus mi, nec dignissim justo ullamcorper eget. Ut pulvinar ullamcorper leo, eu tristique leo lobortis volutpat. Donec sagittis ultricies risus, a dictum risus ornare ac. Proin cursus arcu varius luctus rhoncus. Duis lobortis mi augue, id malesuada risus fringilla ut. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus mollis pellentesque turpis in tincidunt. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae; Sed varius mauris elit, sed porta ipsum ultrices in. Suspendisse quis felis lectus. Morbi ut sem sagittis erat facilisis tempus ut quis mi. Nunc vel pretium erat, et consequat quam.

Proin ut convallis odio. Praesent a congue lorem. Sed id lorem id libero hendrerit venenatis. Quisque volutpat massa eu ornare varius. Sed commodo tempor turpis, vel ultricies ipsum luctus eget. Proin et risus neque. Donec nisi nunc, accumsan eget mauris vel, malesuada ultrices erat. Pellentesque nec nulla nibh.

Curabitur tempus egestas lorem ut pharetra. Nullam et augue sit amet arcu sodales euismod eget eget purus. Donec lobortis dictum lectus, sed ultrices lorem. Phasellus viverra tellus a commodo sollicitudin. Proin egestas consequat fringilla. Etiam nec nunc consequat massa convallis placerat. Suspendisse vitae porta urna, sit amet consequat quam. Morbi tortor tortor, suscipit vulputate maximus nec, viverra in ante. Duis placerat sapien leo, rutrum auctor justo aliquam quis. Nunc quis tempus eros. Donec ut sapien cursus neque commodo faucibus vel vel augue. Praesent nec finibus velit. Duis cursus sit amet metus eu vehicula. Sed iaculis, enim.

## References



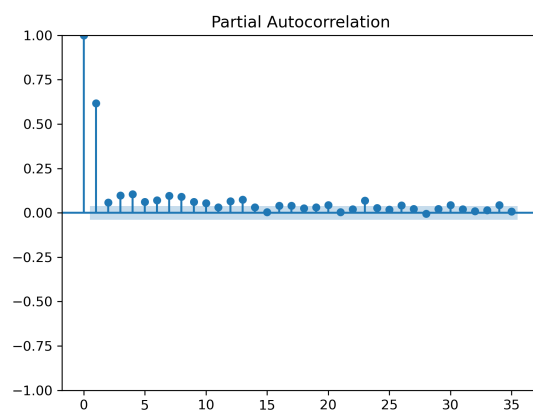


Figure 3: Partial autocorrelation of sleep time series

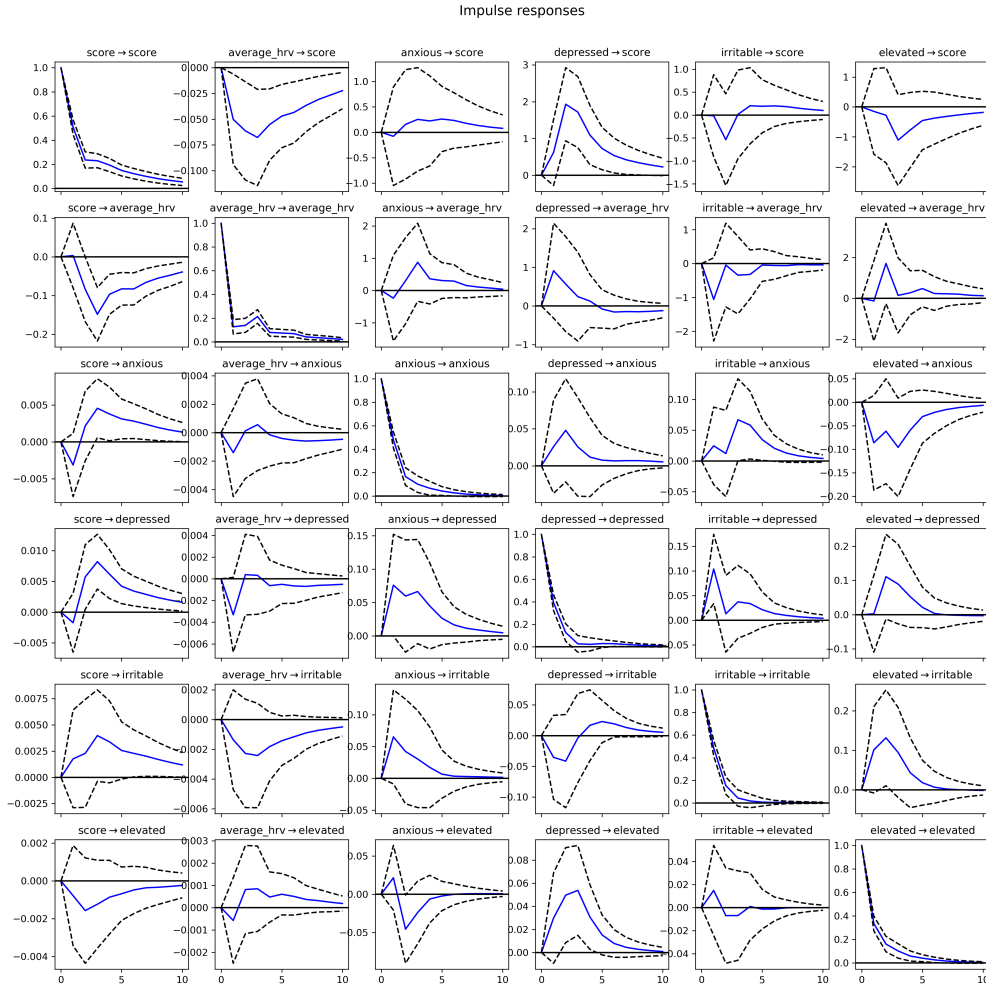


Figure 4: Plot of Impulse Response Function, Lag 0 to 10