Visualizing and Analyzing Data from Wearable Technology

By Bernard Wong

The Growth and Importance of Wearable Technology

‘CCS Insight has updated its outlook on the future of wearable tech, indicating that 411 million smart wearable devices, worth a staggering $34 billion, will be sold in 2020’ - Forbes

‘In recent years, we’ve seen more wearables move from the wellness segment to real-time patient monitoring’ - The Journal of mHealth

‘Medical wearables’ superpower comes from the ability to collect valuable information; provided sensor data is analyzed and acted upon, healthcare professionals could achieve greater transparency in day-to-day operations and improve patient outcomes.’ - The Journal of mHealth

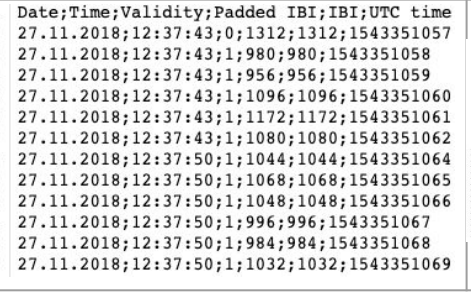
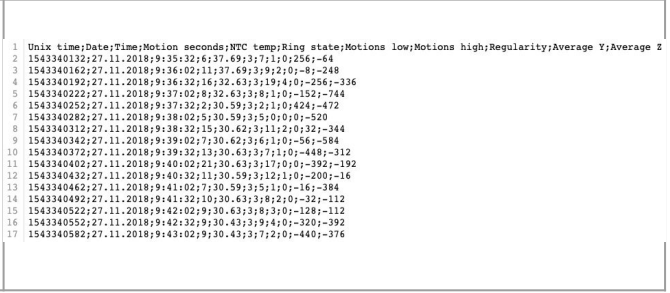
An Overview on the Data

Data first given is a sample size of 1, randomly selected from a pool of data from 223 people.

- Data has around 40,000 measurements

The GOAL: To take the data and create methods that 1) clean the dataset in preparation for future data manipulation (visualization, machine learning, etc.) 2) Visualize the data to better understand certain aspects and patterns and 3) can be applied to future datasets (rather than just the individual sample that I have currently)

3 different datasets in a CSV format:

Sleep Dataset	IBI Dataset	Motion Dataset
		

Cleaning and Organizing the Sleep Dataset

From this:	To this!


```
Date;Bedtime start Unix;Bedtime end Unix;Bedtime start;Bedtime end;TimeZone;Debug info;Battery consumption;Is longest;Time in bed;Sleep Score;Sleep minutes;Wake minutes;REM minutes;Light minutes;Deep minutes;Efficiency;Lowest HR time minutes;Lowest HR;Wake-up count;Sleep latency;breath;breath_v;Average HR;SleepMidPoint;Temperature;;Restless%;Got up count;;Score Total;Score Deep;Score REM; Score Efficiency; Score Latancy; Score Disturbances;Score Alignment;FW version;Sleep phases;0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30;31;32;33;34;35;36;37;38;39;40;41;42;43;44;45;46;47;48;49;50;51;52;53;54;55;56;57;58;59;60;61;62;63;64;65;66;67;68;69;70;71;72;73;74;75;76;77;78;79;80;81;82;83;84;85;86;87;88;89;90;91;92;93;94;95;96;97;98;99;100;101;102;103;104;105;106;107;108;109;110;111;112;113;114;115;116;117;118;119;120;121;122;123;124;125;126;127;128;129;130;131;132;133;134;135;136;137;138;139;140;141;142;143;144;145;146;147;148;149;150;151;152;153;154;155;156;157;158;159;160;161;162;163;164;165;166;167;168;169;170;171;172;173;174;175;176;177;178;179;180;181;182;183;184;185;186;187;188;189;190;191;192;193;194;195;196;197;198;199;200;201;202;203;204;205;206;207;208;209;210;211;212;213;214;215;216;217;218;219;220;221;222;223;224;225;226;227;228;229;230;231;232;233;234;235;236;237;238;239;240;241;242;243;244;245;246;247;248;249;250;251;252;253;254;255;256;257;258;259;260;261;262;263;264;265;266;267;268;269;270;271;272;273;274;275;276;277;278;279;280;281;282;283;284;285;286;287;288;289;290;291;292;293;294;295;296;297;298;299;300;301;302;303;304;305;306;307;308;309;310;311;312;313;314;315;316;317;318;319;320;321;322;323;324;325;326;327;328;329;330;331;332;333;334;335;336;337;338;339;340;341;342;343;344;345;346;347;348;349;350;351;352;353;354;355;356;357;358;359;360;361;362;363;364;365;366;367;368;369;370;371;372;373;374;375;376;377;378;379;380;381;382;383;384;385;386;387;388;389;390;391;392;393;394;395;396;397;398;399;400;401;402;403;404;405;406;407;408;409;410;411;412;413;414;415;416;417;418;419;420;421;422;423;424;425;426;427;428;429;430;431;432;433;434;435;436;437;438;439;440;441;442;443;444;445;446;447;448;449;450;451;452;453;454;455;456;457;458;459;460;461;462;463;464;465;466;467;468;469;470;471;472;473;474;475;476;477;478;479;480;481;482;483;484;485;486;487;488;489;490;491;492;493;494;495;496;497;498;499;500;501;502;503;504;505;506;507;508;509;510;511;512;513;514;515;516;517;518;519;520;521;522;523;524;525;526;527;528;529;530;531;532;533;534;535;536;537;538;539;540;541;542;543;544;545;546;547;548;549;550;551;552;553;554;555;556;557;558;559;560;561;562;563;564;565;566;567;568;569;570;571;572;573;574;575;576;577;578;579;580;581;582;583;584;585;586;587;588;589;590;591;592;593;594;595;596;597;598;599;600;601;602;603;604;605;606;607;608;609;610;611;612;613;614;615;616;617;618;619;620;621;622;623;624;625;626;627;628;629;630;631;632;633;634;635;636;637;638;639;640;641;642;643;644;645;646;647;648;649;650;651;652;653;654;655;656;657;658;659;660;661;662;663;664;665;666;667;668;669;670;671;672;673;674;675;676;677;678;679;680;681;682;683;684;685;686;687;688;689;690;691;692;693;694;695;696;697;698;699;700;701;702;703;704;705;706;707;708;709;710;711;712;713;714;715;716;717;718;719;720;721;722;723;724;725;726;727;728;729;730;731;732;733;734;735;736;737;738;739;740;741;742;743;744;745;746;747;748;749;750;751;752;753;754;755;756;757;758;759;760;761;762;763;764;765;766;767;768;769;770;771;772;773;774;775;776;777;778;779;780;781;782;783;784;785;786;787;788;789;790;791;792;793;794;795;796;797;798;799;800;801;802;803;804;805;806;807;808;809;810;811;812;813;814;815;816;817;818;819;820;821;822;823;824;825;826;827;828;829;830;831;832;833;834;835;836;837;838;839;840;841;842;843;844;845;846;847;848;849;850;851;852;853;854;855;856;857;858;859;860;861;862;863;864;865;866;867;868;869;870;871;872;873;874;875;876;877;878;879;880;881;882;883;884;885;886;887;888;889;890;891;892;893;894;895;896;897;898;899
27.11.2018;1543350953;1543351793;12:35:53;12:49:53;-8;;;1;14;23;4;10;0;4;0;29;6;87;0;0;14;3.75;60.125;12:41;0;;102;0;;1;1;1;1;76;99;1;;;4;4;4;4;4;4;4;2;2;2;2;2;2;2;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;;;400;400;400;400;200;200;200;200;100;100;100;100;100;100;
27.11.2018;1543367875;1543369075;17:17:55;17:37:55;-8;;;1;20;23;0;20;0;0;0;0;8;81;0;0;14;3.75;60.125;17:17;0;;;0;;1;1;1;1;76;99;1;;;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;4;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;;;400;400;400;400;400;400;400;400;400;400;400;400;400;100;100;100;100;100;100;
```


	Date	Bedtime start Unix	Bedtime end Unix	Bedtime start	Bedtime end	TimeZone	Debug info	Battery consumption	Is longest	Time in bed	...	1731	1732	1733	1734	1735	1736	1737
0	27.11.2018	1.543351e+09	1.543352e+09	12:35:53	12:49:53	-8.0	NaN	NaN	1.0	14.0	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
1	27.11.2018	1.543368e+09	1.543369e+09	17:17:55	17:37:55	-8.0	NaN	NaN	1.0	20.0	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	28.11.2018	1.543386e+09	1.543419e+09	22:16:15	7:32:15	-8.0	NaN	1.2%	1.0	556.0	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
3	28.11.2018	1.543438e+09	1.543440e+09	12:52:26	13:12:26	-8.0	NaN	NaN	0.0	20.0	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
4	29.11.2018	1.543463e+09	1.543464e+09	19:44:43	19:54:43	-8.0	NaN	NaN	1.0	10.0	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Methods of cleaning: Organizing last thousand rows into sleep cycles, re-organizing data into proper format, removing missing data

Columns: 1780 columns, data includes time in bed, data on duration of wake/sleep, duration of Total/Deep/REM, and measurements of sleep phases during entire sleep cycle

Cleaning and Organizing the IBI Dataset

From this:

```
Date;Time;Validity;Padded IBI;IBI;UTC time
27.11.2018;12:37:43;0;1312;1312;1543351057
27.11.2018;12:37:43;1;980;980;1543351058
27.11.2018;12:37:43;1;956;956;1543351059
27.11.2018;12:37:43;1;1096;1096;1543351060
27.11.2018;12:37:43;1;1172;1172;1543351061
27.11.2018;12:37:43;1;1080;1080;1543351062
27.11.2018;12:37:50;1;1044;1044;1543351064
27.11.2018;12:37:50;1;1068;1068;1543351065
27.11.2018;12:37:50;1;1048;1048;1543351066
27.11.2018;12:37:50;1;996;996;1543351067
27.11.2018;12:37:50;1;984;984;1543351068
27.11.2018;12:37:50;1;1032;1032;1543351069
```

To this!

	Date	Time	Validity	Padded IBI	IBI	UTC time	UTC time (converted)	time frame	time according to UTC time
1	27.11.2018	12:37:43	1	980	980.0	1543351058	2018-11-27 12:37:38	afternoon	12:37:38
2	27.11.2018	12:37:43	1	956	956.0	1543351059	2018-11-27 12:37:39	afternoon	12:37:39
3	27.11.2018	12:37:43	1	1096	1096.0	1543351060	2018-11-27 12:37:40	afternoon	12:37:40
4	27.11.2018	12:37:43	1	1172	1172.0	1543351061	2018-11-27 12:37:41	afternoon	12:37:41
5	27.11.2018	12:37:43	1	1080	1080.0	1543351062	2018-11-27 12:37:42	afternoon	12:37:42
6	27.11.2018	12:37:50	1	1044	1044.0	1543351064	2018-11-27 12:37:44	afternoon	12:37:44
7	27.11.2018	12:37:50	1	1068	1068.0	1543351065	2018-11-27 12:37:45	afternoon	12:37:45
8	27.11.2018	12:37:50	1	1048	1048.0	1543351066	2018-11-27 12:37:46	afternoon	12:37:46
9	27.11.2018	12:37:50	1	996	996.0	1543351067	2018-11-27 12:37:47	afternoon	12:37:47
10	27.11.2018	12:37:50	1	984	984.0	1543351068	2018-11-27 12:37:48	afternoon	12:37:48

Methods of cleaning: relatively nice to clean (no miscellaneous columns, no missing data), created additional columns to help better understand time measurements were taken, only selected valid data

Columns: Date, Time (unimportant), Validity, Padded IBI, IBI, UTC time, UTC time (converted), time frame, time according to UTC to UTC time

Cleaning and Organizing the Motion Dataset

From this:

```
Unix time;Date;Time;Motion seconds;NTC temp;Ring state;Motions low;Motions high;Regularity;Average Y;Average Z
1543340132;27.11.2018;9:35:32;6;37.69;3;7;1;0;256;-64
1543340162;27.11.2018;9:36:02;11;37.69;3;9;2;0;-8;-248
1543340192;27.11.2018;9:36:32;16;32.63;3;19;4;0;-256;-336
1543340222;27.11.2018;9:37:02;8;32.63;3;8;1;0;-152;-744
1543340252;27.11.2018;9:37:32;2;30.59;3;2;1;0;424;-472
1543340282;27.11.2018;9:38:02;5;30.59;3;5;0;0;0;-520
1543340312;27.11.2018;9:38:32;15;30.62;3;11;2;0;32;-344
1543340342;27.11.2018;9:39:02;7;30.62;3;6;1;0;-56;-584
1543340372;27.11.2018;9:39:32;13;30.63;3;7;1;0;-448;-312
1543340402;27.11.2018;9:40:02;21;30.63;3;17;0;0;-392;-192
1543340432;27.11.2018;9:40:32;11;30.59;3;12;1;0;-200;-16
1543340462;27.11.2018;9:41:02;7;30.59;3;5;1;0;-16;-384
1543340492;27.11.2018;9:41:32;10;30.63;3;8;2;0;-32;-112
1543340522;27.11.2018;9:42:02;9;30.63;3;8;3;0;-128;-112
1543340552;27.11.2018;9:42:32;9;30.43;3;9;4;0;-320;-392
1543340582;27.11.2018;9:43:02;9;30.43;3;7;2;0;-440;-376
```

To this!

	Unix time	Date	Time	Motion seconds	NTC temp	Ring state	Motions low	Motions high	Regularity	Average Y	Average Z
0	1543340132	27.11.2018	9:35:32	6	37.69	3	7	1	0	256.0	-64.0
1	1543340162	27.11.2018	9:36:02	11	37.69	3	9	2	0	-8.0	-248.0
2	1543340192	27.11.2018	9:36:32	16	32.63	3	19	4	0	-256.0	-336.0
3	1543340222	27.11.2018	9:37:02	8	32.63	3	8	1	0	-152.0	-744.0
4	1543340252	27.11.2018	9:37:32	2	30.59	3	2	1	0	424.0	-472.0

Methods of cleaning: Easiest dataset to clean, no errors and no missing data (removed erroneous data points)

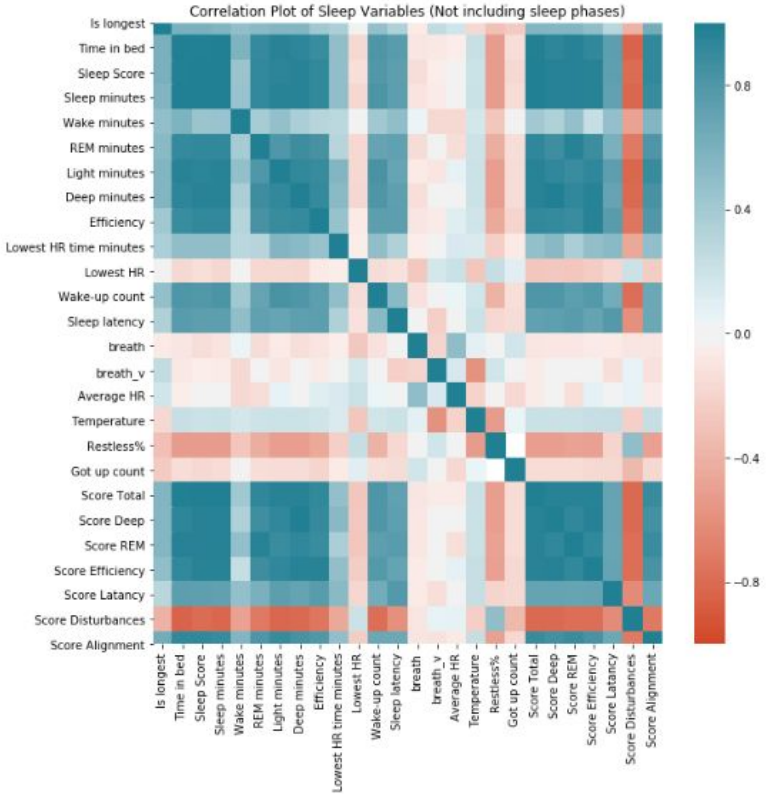
Columns: Unix time, Date, Time, Motion seconds, NTC temp, Ring state, motions low, motions high, regularity, Average Y, Average Z.

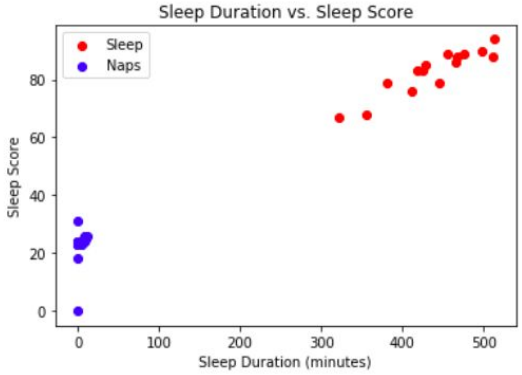
Because of general accuracies and interests of the project, not much analysis was done on the motion data besides describing it. Potential for the future!

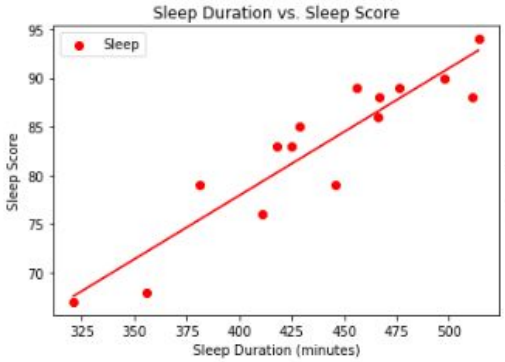
Results of Cleaning and Organization

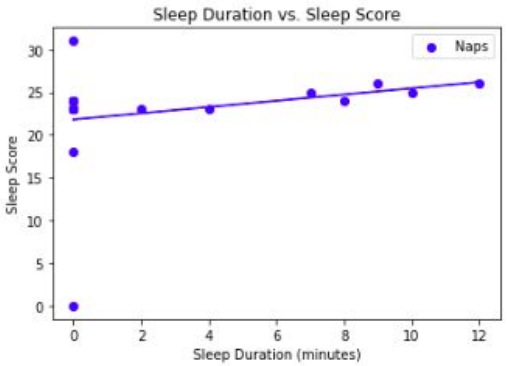
- Boring, but an incredibly important step
- Helps organize the data and make it understandable
- Cleaning is necessary for future manipulations such as visualizations, statistical analysis, and usage for machine learning

Different Visualizations of Sleep

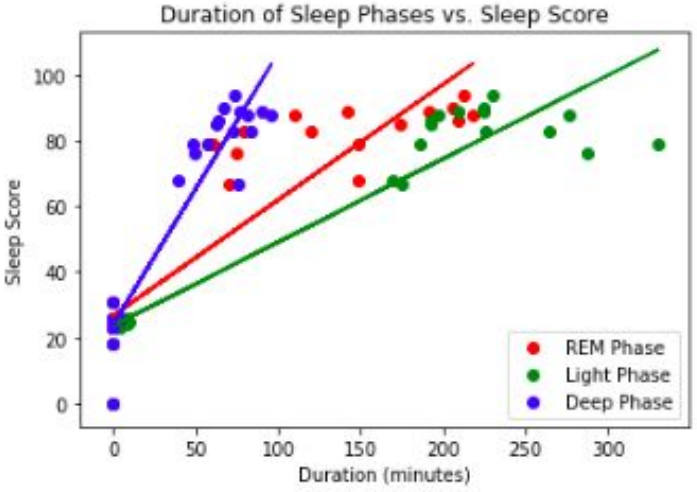


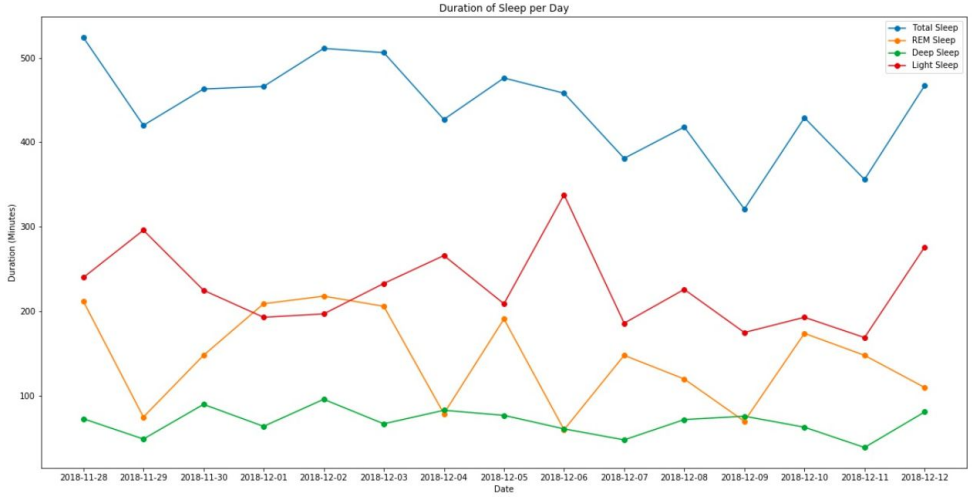




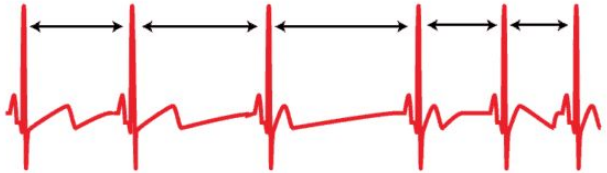


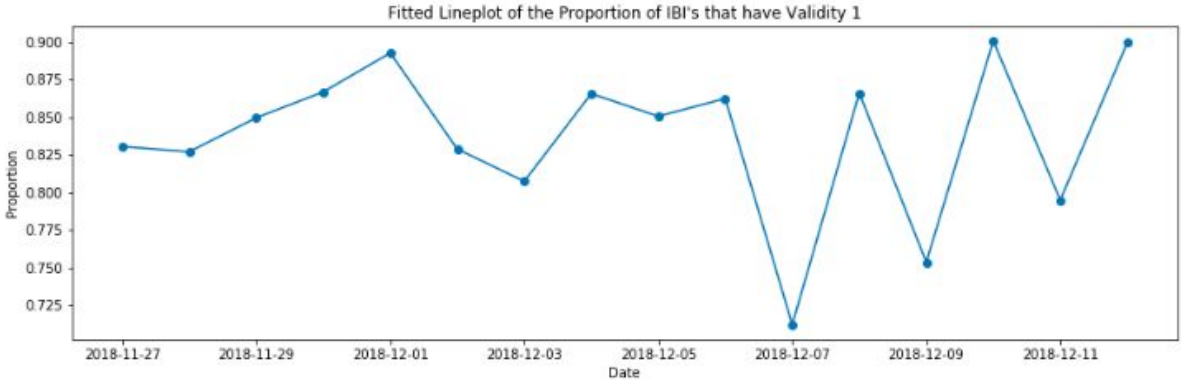
Different Visualizations of Sleep

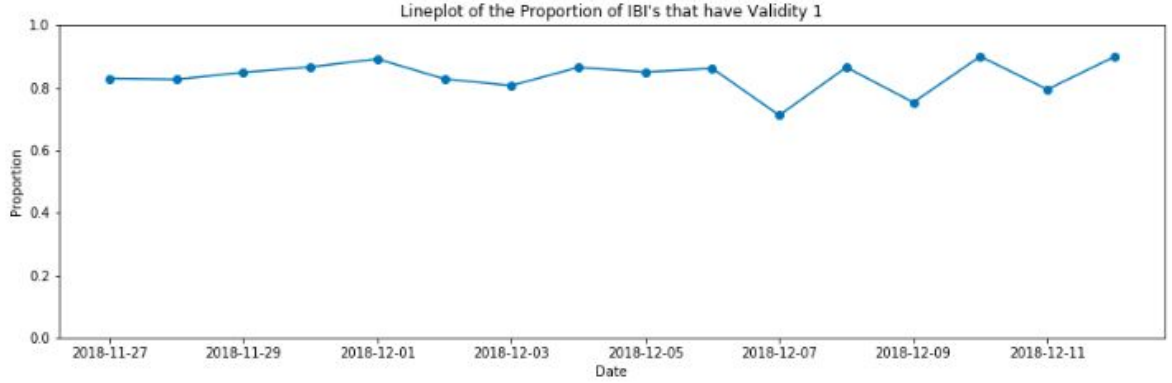




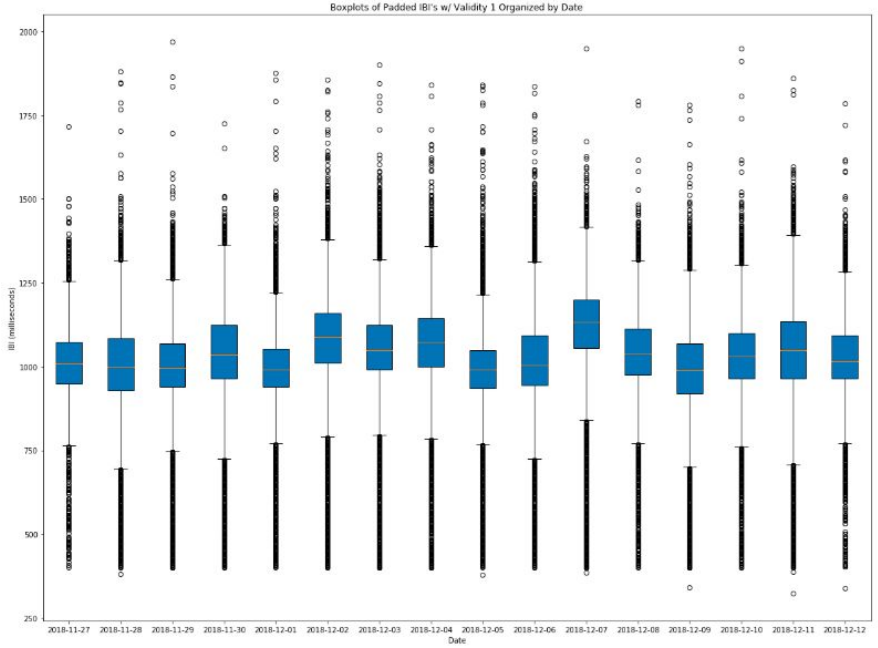
Different Visualizations of IBI

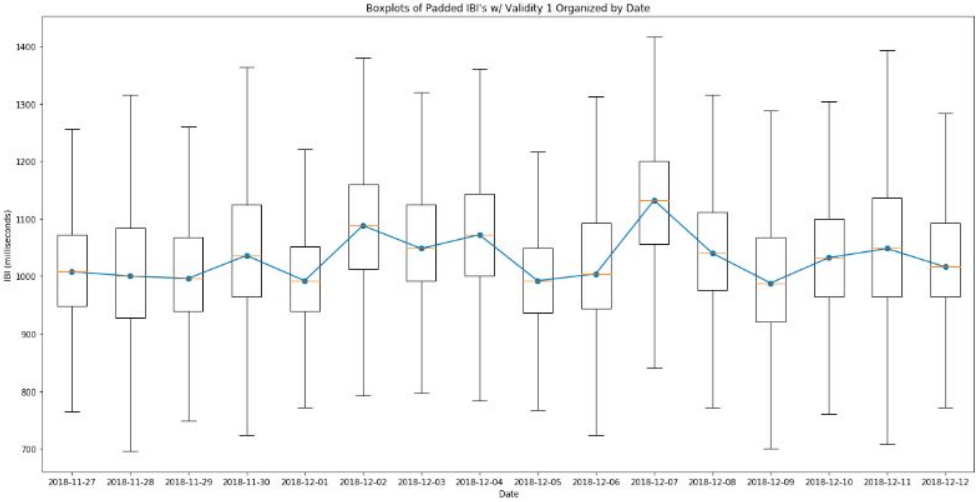




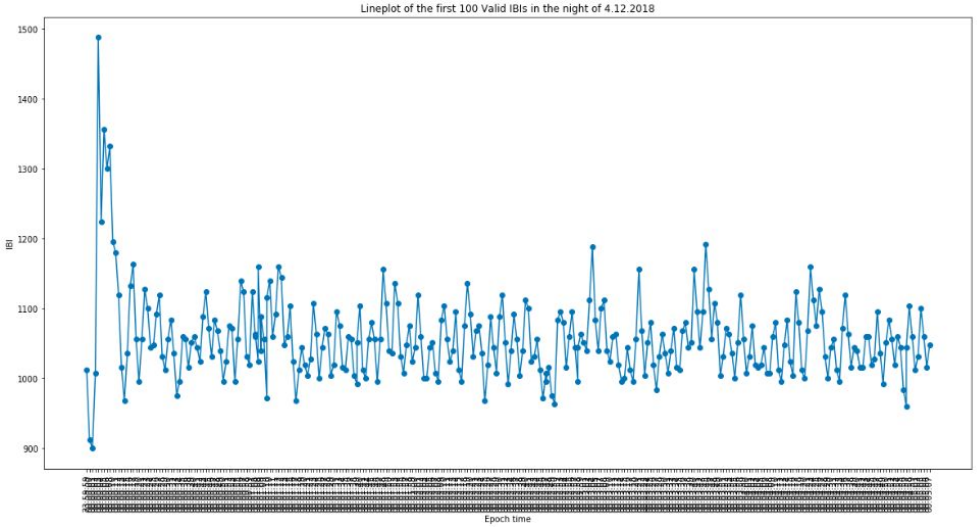


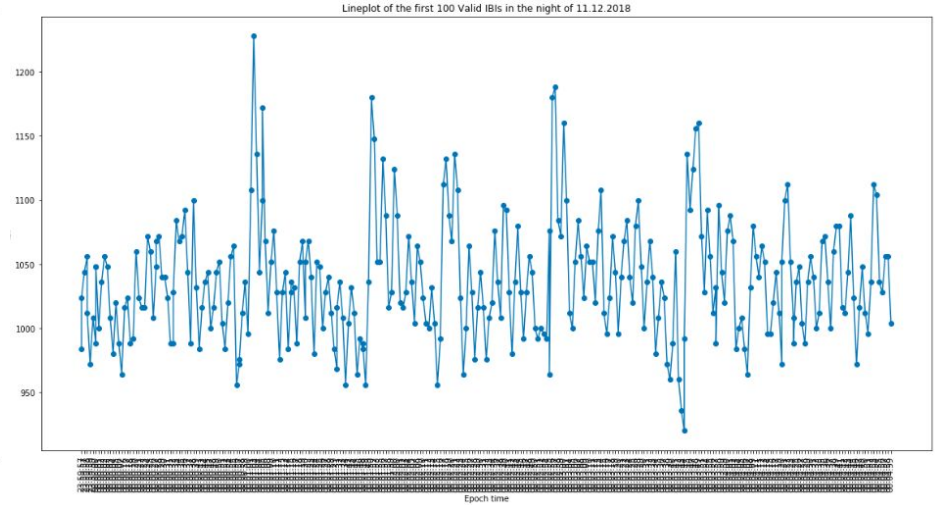
Different Visualizations of IBI





Different Visualizations of IBI





What’s Next?

- Combining the data together to make comparisons
- Utilize larger data sets to find general patterns in the population
- Input data into machine learning models to make predictions (sleep cycles and its effects on IBI)
- Utilize motion as a measurement of activity
- Greater development in wearable technologies

Thank you!