

令和元年度 特別研究報告書

血圧計を使用しないで血圧を推測する
システムの検討

龍谷大学 理工学部 情報メディア学科

T160418 増田 伊智也

指導教員 三好 力 教授

内容梗概

日々の生活の中で「血圧」を意識することは少なく、健康診断などで高血圧を指摘されて初めて「血圧」ということを意識したことがあるだろう。現代人は長寿命社会、ストレスの多い環境、生活習慣の悪化などにより心臓や血管を酷使している。くも膜下出血や大動脈解離など、血圧が主な要因の急性疾患を予防するためには血圧管理が重要になるが既存の血圧計では高頻度で血圧を測定することが難しいので血圧を常にモニタリングすることができない。本研究では血圧計以外の医療機器を用いてバイタルサインを測定し、取得した情報から血圧を推測し、血圧が急上昇および急降下が推測される場合に利用者へ通知を送る手法を提案した。そこで、血中酸素濃度、脈拍、体温、体表の温度、脳波、気温の値を用いて重回帰分析を行い、導き出された回帰式を用いて血圧の急激な変化がみられるときに利用者へ通知することで休憩を促し、血管の急激な負荷を抑えるという提案したシステムの実現に必要な機能が動作するか実験した。

目次

第1章	はじめに.....	1
1.1	最高血圧と最低血圧.....	1
1.2	自動電子血圧計.....	1
1.3	問題点.....	2
第2章	提案手法.....	3
2.1	バイタルサインの測定.....	3
2.1.1	血圧の測定.....	3
2.1.2	脈拍の測定.....	3
2.1.3	血中酸素濃度の測定.....	3
2.1.4	体温の測定.....	4
2.1.5	脳波の測定.....	4
2.1.6	気温の測定.....	4
2.1.7	体表温度の測定.....	4
2.2	バイタルサインの分析.....	4
2.3	利用者へ通知.....	4
2.4	2.1 から 2.3 における工程のフローチャート.....	5
第3章	実験 1.....	6
3.1	実験概要.....	6
3.2	実験環境.....	6
3.3	実験 1.1.....	8
3.4	実験 1.2.....	8
3.5	実験 1.3.....	8
3.6	実験 1.4.....	8
3.7	実験の結果.....	9
3.7.1	最高血圧の統計結果.....	11
3.7.2	最低血圧の統計結果.....	12
第4章	実験 2.....	13
4.1	被験者 A の測定結果.....	13
4.1.1	被験者 A の分析結果.....	14
4.2	被験者 B の測定結果.....	14
4.2.1	被験者 B の分析結果.....	15
4.3	被験者 C の測定結果.....	16

4.3.1 被験者 B の分析結果.....	16
4.4 被験者 D の測定結果.....	17
4.4.1 被験者 D の分析結果.....	18
4.5 考察.....	19
4.6 システムの動作.....	19
第5章 おわりに.....	20
謝辞.....	21
参考文献.....	22

第1章 はじめに

血圧は、人間が生命を保つためには無くてはならないものである。血圧の役割は、必要な酸素、栄養素を全身に運び、二酸化炭素や老廃物を回収するため、血液を体のすみずみまで送り届けることである。このように、血圧は生命維持のための機能をしている。しかし、現代社会では塩分が多い食生活や長寿命化によって血管に負担をかけており動脈硬化が急速に促進され最終的には高血圧になり、大動脈解離やくも膜下出血など重篤な疾患を起こす可能性がある。血圧を正しく理解し、常に血圧管理を行うことが重要である。そこで本研究では血圧に着目した。

家庭用の電子自動血圧計は小型で軽量、かつ技術の進歩により信頼性が高くなった。健康意識や高齢化により一家に一台あることも少なくない。血圧も今や自分で測る時代と言えるだろう。そのような中、「病院で測ると血圧が上がった」という経験がある人もいるのではないだろうか。血圧は様々な環境で常に変化し、昼間は高く、夜間に低くなるという特性がある。また、血圧は腕、手首、膝などいろいろなところで計測できるが、計る場所で多少の血圧変動が認められる。ある時点での血圧や病院で測った血圧だけでその人の血圧とするのは問題がある。血圧の変化を常にモニタリングすることができれば、血圧が変化する瞬間を察知することができるので、くも膜下出血や大動脈解離など血圧が主な要因で引き起こされる疾患の予防や動脈硬化の進行を把握し易くなると考えた。

1.1 最高血圧と最低血圧

血圧計に表示される測定値には最高血圧と最低血圧がある。最高血圧とは心臓が血液を送り出すときに心筋が最大限に収縮したときの圧力である。最低血圧とは次に送り出す血液を心臓内に貯めて膨らんだときの圧力である。成人の血圧の正常値は最高血圧が135mmHg未満、最低血圧が80mmHg未満とされているが、年齢が上がるとともに動脈硬化が進行することで血管に弾力性がなくなり、血圧の上昇がみられるようになる。動脈硬化は生活習慣病があると加速度的に進行する。

1.2 自動電子血圧計

家庭でよく使われている自動電子血圧計は、オシロメトリック法が主流になっている。オシロメトリック法は血圧を測定する際、測定部位にカフ（腕帯）を巻き、そこに空気を送り込んで血管を圧迫し、いったん血液の流れを止める。カフを減圧していく段階で、心臓の拍動に同調した血管壁の振動を反映したカフ圧の変動（圧脈波）を測定することによって血圧値を決定する。圧脈波が急激に大きくなったときのカフ圧を「最高血圧」、急激に小さくなったときのカフ圧を「最低血圧」としている。

1.3 問題点

既存技術には問題点が考えられる。

2.2の自動電子血圧計について、オシロメトリック法は血管を圧迫して血圧を測定する仕様になっているが内出血や血液の循環に支障をきたすことがあり、連続して測定することは血圧計を安全に使用できているといえない。これでは血圧を測定するごとに休憩が必要になり常にモニタリングすることができない。また、測定中は腕を動かすことができないので運動中に測定することは厳しい。

第2章 提案手法

第1章で述べた問題点を解決する策として、血圧以外のバイタルサインから血圧の変化を推測するシステムを検討した。

まず、バイタルサインを選択する条件として、「装着が容易」かつ「携帯が可能」かつ「常にモニタリングが可能」かつ「人体に影響が小さい」を設定した。なぜなら、日常で使用するためには測定時の違和感が少ないほうがよいと考えたからである。条件より選択したバイタルサインは「血中酸素濃度」、「脈拍」、「体温」、「体表の温度」、「脳波」、「気温」である。

次に、得られたバイタルサインと実際に測った血圧との相関性を調べるために重回帰分析を行う。導き出された回帰式を用いて、血圧の急激な変化がみられるときに利用者へ通知することで休憩を促し、血管の急激な負荷を抑えることができると考えた。

2.1 バイタルサインの測定

バイタルサインを測定するために血圧計、パルスオキシメータ、体温計、脳波計を装着する。血圧を測定するときは薄手の服の上からカフを巻くことが好ましい。測定の間隔は60分間隔またはアクションごとに測定する。

2.1.1 血圧の測定

血圧の測定には上腕式の電子自動血圧計を用いる。上腕式を用いた理由は、上腕は心臓と同じ高さにカフを巻くので血圧をより正しく測定することが可能と考えたからである。

2.1.2 脈拍の測定

脈拍の測定には血圧計に搭載されている脈拍測定機能を用いる。日常生活での利用を仮定しているため別途脈拍計を装着するよりも血圧計に搭載されている脈拍測定機能を活用することで装着する機器を減らし、日常生活への支障を少なくできると考えたからである。

2.1.3 血中酸素濃度の測定

血中酸素濃度の測定には指先で測定が可能なパルスオキシメータを用いる。指先で測定できるので、測定中に動かすことができない部位が少ないことが特徴である。

2.1.4 体温の測定

体温の測定には体温計を用いて口中で体温を測定する。口中は脇より測定時間が早いうえに測定中に腕を動かすことができるので実験を迅速に行うことができると考えたからである。

2.1.5 脳波の測定

脳波の測定には持ち運びが可能でバッテリーが搭載された脳波計を用いる。日常生活での利用を仮定しているので持ち運びが可能かつバッテリー搭載で野外などコンセントが無い環境でも測定できる脳波計を用いる必要がある。

2.1.6 気温の測定

気温の測定には温度計を用いる。値を読み取りやすいデジタル式の温度計を用いる。

2.1.7 体表温度の測定

体表温度の測定には表面温度計を用いる。持ち運びができるように小型の表面温度計を用いる。

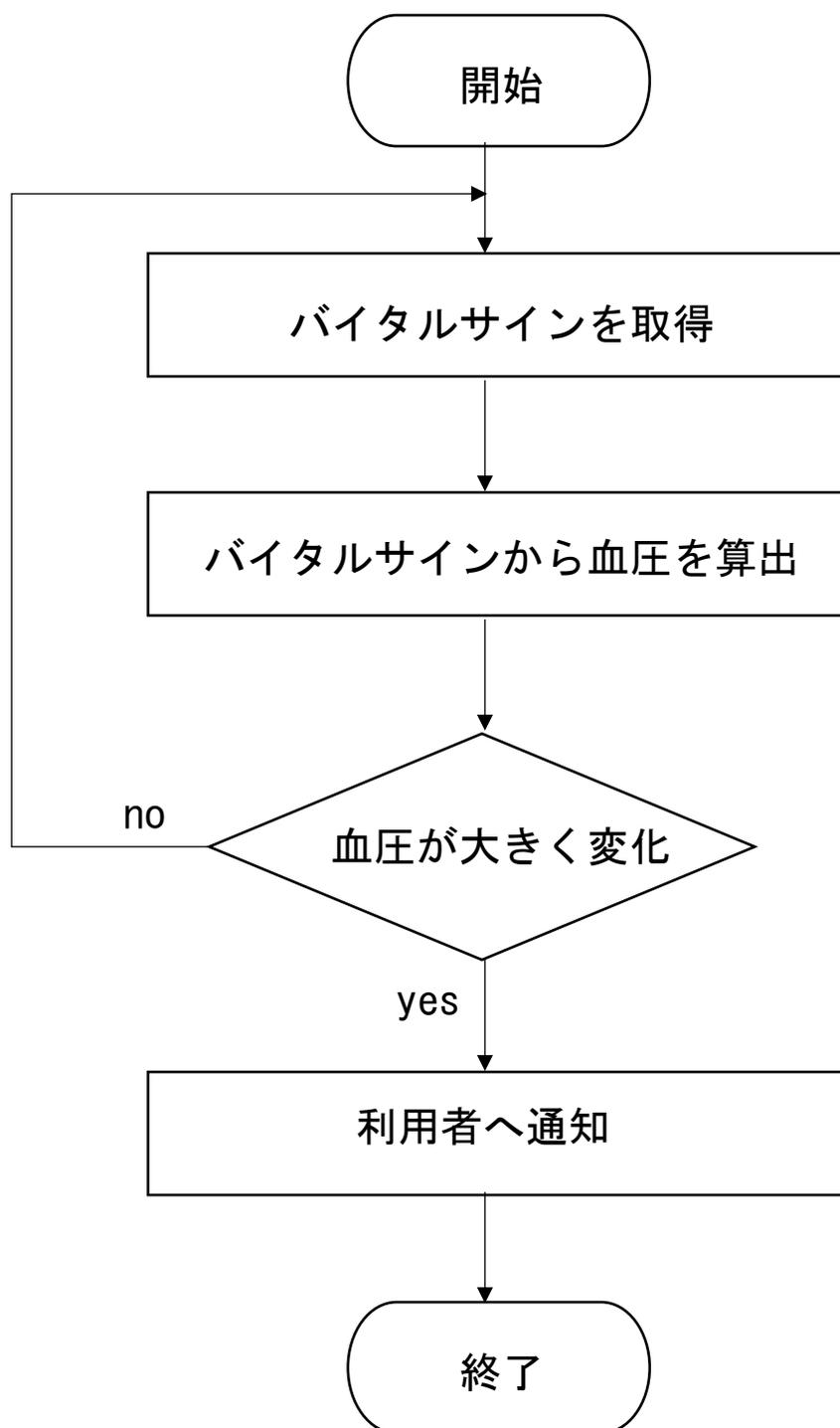
2.2 バイタルサインの分析

最高血圧を目的変数、血中酸素濃度、体温、脳波、脈拍、体表温度、気温を説明変数として最小二乗法を用いた重回帰分析を行う。

2.3 利用者へ通知

Bluetooth を使用して測定機器をスマートフォンに同期させる。3.2 より得られた回帰式を用いてバイタルサインから血圧を推定し、血圧の上昇が確認されたときに利用者へ通知して休憩を促す。

2.4 2.1 から 2.3 における工程のフローチャート



第3章 実験1

3.1 実験概要

本実験は、第3章で述べたアルゴリズムから血圧の変化を認識するために得られたバイタルサインから重回帰分析を行って正確に血圧を認識できるか実験を行った。

3.2 実験環境

表 3.1 実験装置

機器名	測定値	メーカー	型番
血圧計	血圧	オムロン	上腕式血圧計HEM-7600T
脈拍計	脈拍		
体温計	体温	オムロン	婦人用体温計MC-652LC
脳波計	脳波	MUSE	MU-02
血中酸素濃度計	血中酸素濃度	Dretec	パルスオキシメータOX-200
温度計	気温	シチズン	耳額式体温計CTD711
表面温度計	体表温度		



図 3.1 上腕式血圧計 HEM-7600T



図 3.2 婦人用体温計 MC-652LC



図 3.3 MU-02



図 3.4 パルスオキシメータ OX-200



図 3.5 耳額式体温計 CTD711

3.3 実験 1.1

特別に変わったことをしておらず落ち着いている状態のデータを得る必要があるので、椅子に座った状態で深呼吸を行ったあとに測定した。

まず、全ての計測機器を装着した。次に、測定に最も時間を要する脳波の測定を開始した。脳波を測定している間に血圧、脈拍、体温、血中酸素濃度を測定した。最後に、気温と体表温度を測定した。測定結果を Excel に記入した。

3.4 実験 1.2

激しい運動中のデータを得る必要があるので 30 分間ランニングを行ってウォーミングアップしてから測定した。

運動の邪魔にならないように、運動中は測定機器を装着しない。ウォーミングアップ後速やかにすべての計測機器を装着して測定を行った。最初に、測定に最も時間を要する脳波の測定を開始した。脳波を測定している間に血圧、脈拍、体温、血中酸素濃度を測定した。最後に、気温と体表温度を測定した。測定結果を Excel に記入した。

3.5 実験 1.3

喫煙中のデータを得る必要があるのでタール 17mg、ニコチン 1.2mg のたばこを 2 本吸った直後に測定した。

まず、全ての測定機器を装着した。2 本目を吸い終わった後、測定に最も時間を要する脳波の測定を開始した。脳波を測定中に血圧、脈拍、血中酸素濃度の測定を開始した。最後に、体温と気温と体表温度を測定した。測定結果を Excel に記入した。

3.6 実験 1.4

入浴中のデータを得る必要があるので 20 分間 31℃のお湯で入浴を行った直後に測定した。

デジタル機器を水に濡らすと故障するので入浴中は測定機器を身に付けない。入浴後速やかに体を拭いて測定機器を装着した。最初に、測定に最も時間を要する脳波の測定を開始した。脳波を測定している間に血圧、脈拍、体温、血中酸素濃度を測定した。最後に気温と体表温度を測定した。測定結果を Excel に記入した。

3.7 実験の結果

3.3 から 3.6 の工程で 80 回測定したバイタルサインを主成分分析と重回帰分析を行った。結果を以下に示した。

表 3.2 実験結果

回数(回)	最高血圧 (mmHg)	最低血圧 (mmHg)	脈拍 (bpm)	体温(°C)	体表温度 (°C)	酸素濃度 (%)	脳波	気温 (°C)
1	149	87	61	36.17	34.4	98	1	25
2	154	92	74	36.53	33.1	97	2	24
3	147	90	76	36.76	28.6	98	1	24
4	149	95	68	36.48	32.1	98	2	26
5	153	94	71	36.45	32.5	98	1	25
6	172	105	67	36.57	32.6	98	2	26
7	153	85	72	36.67	33.0	97	2	26
8	161	101	72	36.40	32.3	97	2	26
9	169	95	70	36.65	33.2	98	2	27
10	160	95	62	36.25	29.9	97	2	23
11	156	104	63	36.42	30.0	99	2	23
12	164	96	66	36.39	30.0	97	2	24
13	162	90	80	36.77	31.2	97	1	26
14	163	97	72	36.55	32.3	98	3	26
15	175	92	72	36.26	31.4	97	1	24
16	158	100	75	36.28	30.8	98	2	25
17	150	90	84	36.83	30.0	97	2	22
18	165	90	114	37.04	26.0	98	3	24
19	154	92	115	37.53	31.0	98	2	26
20	162	71	78	36.35	30.8	99	2	24.3
21	155	98	74	36.25	32.0	98	2	25
22	169	83	80	36.31	31.7	97	1	26
23	167	104	82	36.41	30.7	98	2	22
24	156	113	74	36.39	31.7	97	2	24
25	167	104	82	36.41	30.7	98	2	22
26	167	96	93	36.54	27.7	98	3	26
27	162	87	118	36.61	28.7	97	3	25
28	162	69	72	36.47	29.3	97	3	25
29	172	94	120	36.43	31.9	98	3	25
30	170	100	105	36.43	28.8	98	3	25
31	173	98	110	36.47	28.7	98	3	25
32	175	99	103	36.50	28.6	97	3	25
33	177	96	102	36.60	27.9	98	3	25

表 3.3 実験結果続き

34	171	100	110	36.62	27.7	98	3	26
35	170	98	114	36.56	30.1	97	3	26
36	172	98	115	36.48	28.8	98	3	25
37	150	87	61	36.28	28.6	98	2	24
38	148	90	68	36.40	33.5	98	2	24
39	149	92	70	36.37	34.3	97	1	25
40	151	88	72	36.27	34.5	98	2	24
41	149	95	66	36.48	30.7	97	1	24
42	150	92	63	36.25	28.8	98	1	24
43	165	97	104	36.50	28.8	98	3	26
44	168	99	110	36.47	28.6	97	3	26
45	175	98	115	36.49	29.0	98	3	25
46	177	101	100	36.45	29.3	98	3	25
47	173	101	105	36.53	29.5	97	3	26
48	176	100	104	36.61	30.0	97	3	26
49	171	99	111	36.65	28.6	98	3	25
50	169	97	107	36.58	28.7	98	3	25
51	155	86	60	36.44	33.9	97	1	26
52	149	90	64	36.38	30.4	98	1	26
53	158	87	70	36.29	31.6	98	1	26
54	149	88	75	36.30	32.1	97	2	25
55	150	90	61	36.49	30.5	97	1	26
56	160	95	66	36.37	29.7	98	1	26
57	148	86	64	36.27	30.3	98	2	25
58	152	84	73	36.23	32.9	98	2	25
59	157	85	68	36.35	30.8	97	1	24
60	161	93	67	36.41	30.5	98	1	24
61	147	85	65	36.39	29.7	97	1	24
62	150	87	69	36.38	34.0	98	1	23
63	153	95	71	36.46	34.3	98	2	24
64	149	88	62	36.34	32.5	97	2	23
65	151	93	70	36.36	33.6	98	1	23
66	147	87	67	36.29	32.7	97	1	24
67	154	91	74	36.36	32.9	98	2	24
68	152	94	71	36.40	33.3	98	1	23
69	148	90	65	36.27	32.7	98	1	23
70	152	85	70	36.53	30.1	98	2	25
71	160	90	79	36.54	30.5	98	2	24
72	167	93	75	36.47	29.6	97	3	25
73	170	101	80	36.49	31.3	98	2	25
74	168	96	79	36.51	28.6	98	3	24
75	163	94	79	36.48	29.3	97	3	24
76	159	90	73	36.44	30.0	98	2	23
77	157	86	70	36.46	30.4	97	2	24
78	166	91	76	36.52	29.6	98	3	24
79	170	94	81	36.54	28.4	98	2	25
80	173	103	86	35.55	31.3	97	3	24

3.7.1 最高血圧の統計結果

表 3.4 は主成分分析の結果を表している。値が 1 に近づくにつれて正の相関があり、-1 に近づくにつれて負の相関がある。最高血圧において、脈拍と脳波の相関係数が 0.5 以上 0.8 未満であり弱い正の相関があることが分かった。最高血圧と体表温度において相関係数が-0.5 であり弱い負の相関があることが分かった。最高血圧と脳波の散布図と近似線を図 3.6 に、最高血圧と体表温度の散布図と近似線を図 3.7 に、最高血圧と脈拍の散布図と近似線を図 3.8 に示す。

表 3.4 相関係数表

	最高血圧	最低血圧	脈拍	体温	体表温度	酸素濃度	脳波	気温
最高血圧	1.00	0.46	0.67	0.11	-0.50	0.01	0.67	0.29
最低血圧	0.46	1.00	0.33	0.01	-0.17	0.07	0.33	0.03
脈拍	0.67	0.33	1.00	0.43	-0.54	0.05	0.72	0.28
体温	0.11	0.01	0.43	1.00	-0.30	0.06	0.20	0.23
体表温度	-0.50	-0.17	-0.54	-0.30	1.00	-0.06	-0.54	-0.08
酸素濃度	0.01	0.07	0.05	0.06	-0.06	1.00	0.04	-0.09
脳波	0.67	0.33	0.72	0.20	-0.54	0.04	1.00	0.20
気温	0.29	0.03	0.28	0.23	-0.08	-0.09	0.20	1.00

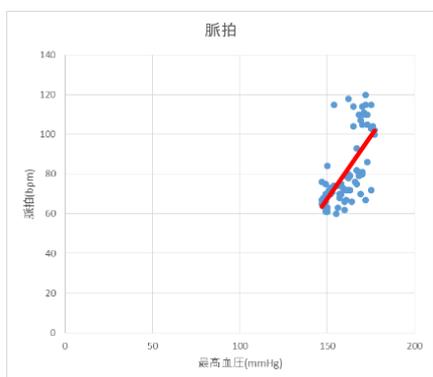


図 3.6 脈拍と最高血圧

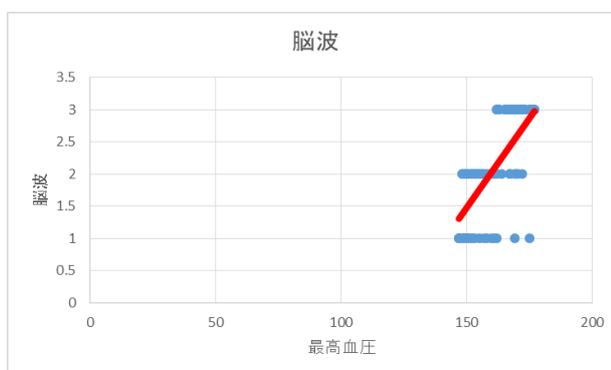


図 3.7 脳波と最高血圧

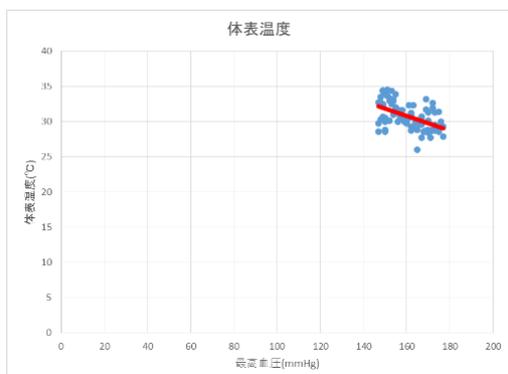


図 3.8 体表温度と最高血圧

表 3.5 重回帰分析結果

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	154.4	16.89358	9.1395	7.22E-14	120.7525	188.0454	120.7525	188.0454
脈拍	0.1904	0.061728	3.08493	0.002839	0.067485	0.31337	0.067485	0.3133696
体表温度	-0.581	0.470956	-1.233	0.221385	-1.51867	0.357313	-1.51867	0.3573125
脳波	4.1175	1.387631	2.96727	0.004015	1.353768	6.88118	1.353768	6.8811801

主成分分析より有効なバイタルサインである脈拍と脳波と体表温度を用いて最小二乗法による重回帰分析を行い、分析結果を表 3.5 に示した。最小二乗法の式

$$f(x) = \sum_{k=1}^m a_k g_k(x)$$

より最高血圧を説明する式は以下となる。

$$\text{最高血圧} = 154.4 + 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} \quad (\text{式 1})$$

3.7.2 最低血圧の統計結果

表 1 より最低血圧は脈拍、体温、脳波、気温、体表温度、血中酸素濃度の相関係数が 0.33 を下回っており、相関関係が確認できなかった。しかし、最高血圧と最低血圧の相関係数が 0.46 と弱い正の相関がみられたので血圧の変化をモニタリングする場合は最高血圧だけに着目すれば最低血圧は無視できる。

第4章 実験2

3.7.1の式1は他人でも適用することが可能か確認するために実験2を行った。20代男性4人のバイタルサインを第3章の実験1と同じ方法でバイタルサインを測定して最高血圧の実測値と3.7.1の式1より求めた推測値を用いて分析した。

4.1 被験者Aの測定結果

表4.1 被験者Aの測定結果

回数(回)	最高血圧 (mmHg)	最低血圧 (mmHg)	脈拍 (bpm)	体温(°C)	体表温度 (°C)	酸素濃度 (%)	脳波	気温 (°C)	最高血圧 (推測値)	推測値と実測値の差
1	109	80	61	36.12	32.4	98	1	25	164	55
2	114	85	74	36.48	31.1	97	2	24	171	57
3	110	83	76	36.71	26.6	98	1	24	168	58
4	115	88	68	36.43	30.1	98	2	26	170	55
5	113	87	71	36.40	30.5	98	1	25	166	53
6	130	98	67	36.52	30.6	98	2	26	170	40
7	113	78	72	36.62	31.0	97	2	26	170	57
8	121	94	72	36.35	30.3	97	2	26	171	50
9	129	88	70	36.60	31.2	98	2	27	170	41
10	120	88	62	36.20	27.9	97	2	23	169	49
11	116	97	63	36.37	28.0	99	2	23	169	53
12	124	89	66	36.34	28.0	97	2	24	170	46
13	122	83	80	36.72	29.2	97	1	26	168	46
14	123	90	72	36.50	30.3	98	3	26	175	52

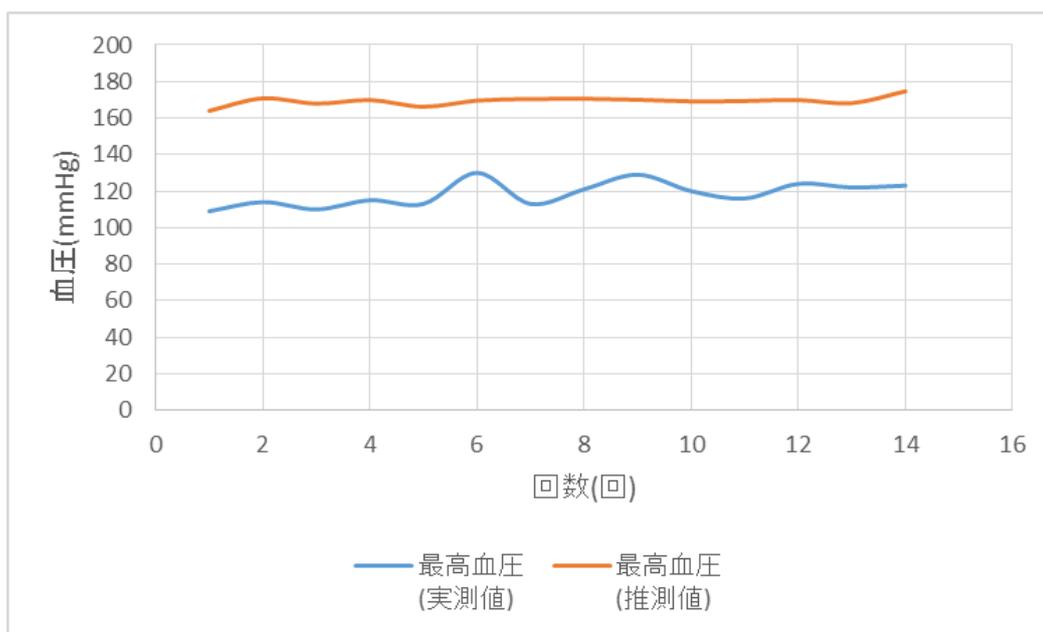


図4.1.1 被験者Aのグラフ

4.1.1 被験者 A の分析結果

推測値と実測値の差をもとに式 1 の切片を-50 すると推測値が実測値に近い値になることが分かった。式 2 は切片を調整済の式である。図 4.1.2 より式 2 と実測値を重ねると一致することが分かった。

$$\text{最高血圧} = 104.4 + 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} \quad (\text{式 2})$$

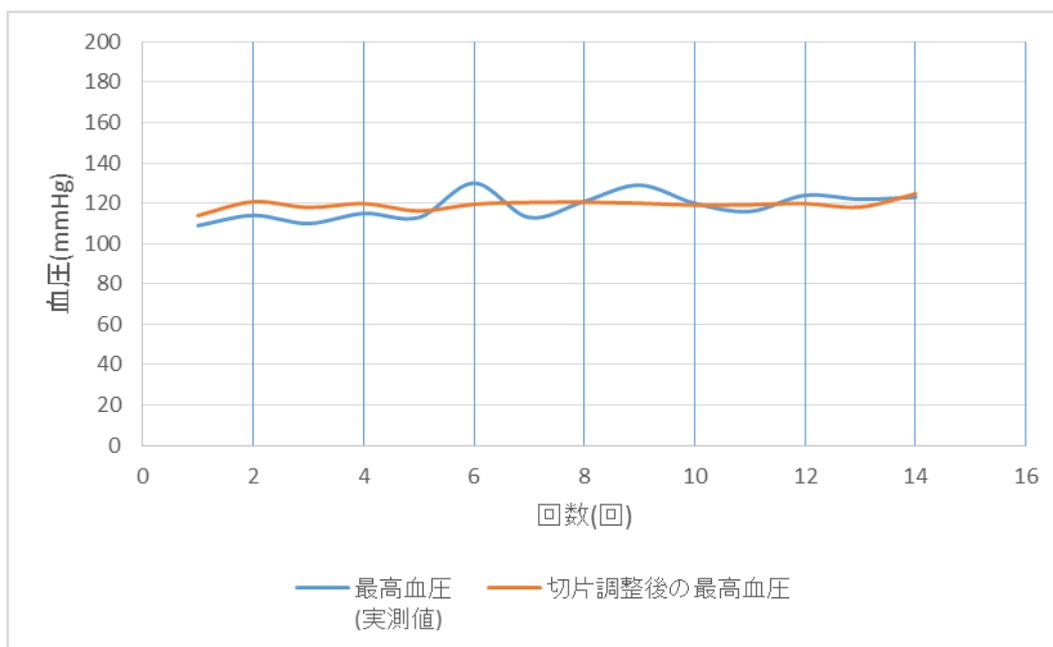


図 4.1.2 切片調整済のグラフ

4.2 被験者 B の測定結果

表 4.2 被験者 B の測定結果

回数(回)	最高血圧 (mmHg)	最低血圧 (mmHg)	脈拍 (bpm)	体温(°C)	体表温度 (°C)	酸素濃度 (%)	脳波	気温 (°C)	最高血圧 (推測値)	推測値と実測値の差
1	111	75	112	36.68	32.8	98	3	25	183	72
2	89	64	58	36.48	32.6	98	2	24	169	80
3	90	67	65	36.60	37.5	98	2	24	169	79
4	88	69	67	36.57	38.3	97	1	25	165	77
5	90	65	69	36.47	38.5	98	2	24	170	80
6	88	72	63	36.68	34.7	97	1	24	165	77
7	89	69	60	36.45	32.8	98	1	24	165	76
8	104	74	101	36.70	32.8	98	3	26	181	77
9	107	76	107	36.67	32.6	97	3	26	182	75
10	114	75	112	36.69	33.0	98	3	25	183	69
11	116	78	97	36.65	33.3	98	3	25	180	64
12	112	78	102	36.73	33.5	97	3	26	181	69
13	115	77	101	36.81	34.0	97	3	26	181	66
14	110	76	108	36.85	32.6	98	3	25	182	72
15	108	74	104	36.78	32.7	98	3	25	182	74
16	94	63	57	36.64	37.9	97	1	26	163	69
17	88	67	61	36.58	34.4	98	1	26	165	77
18	97	64	67	36.49	35.6	98	1	26	166	69
19	93	65	72	36.50	36.1	97	2	25	171	78

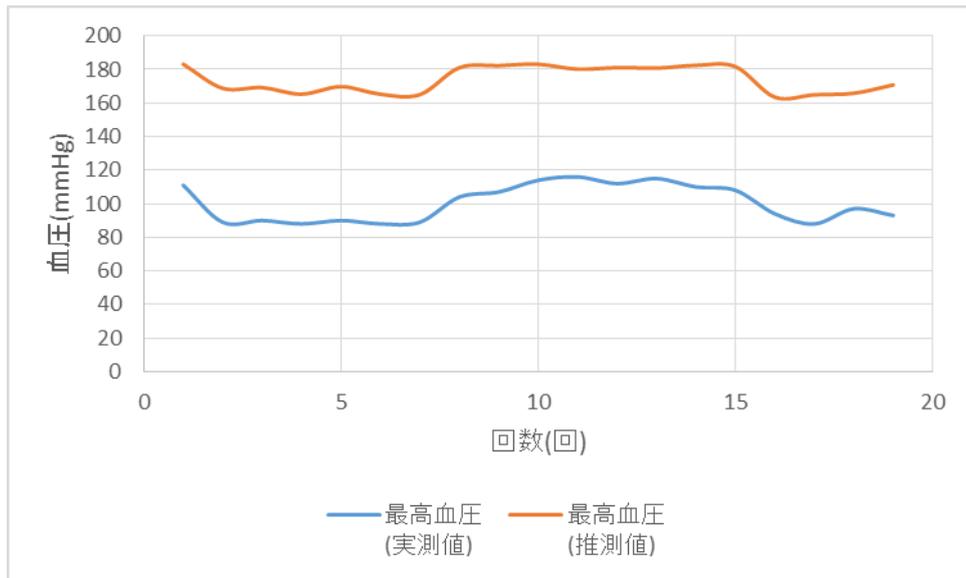


図 4.2.1 被験者 B のグラフ

4.2.1 被験者 B の分析結果

推測値と実測値の差をもとに式 1 の切片を-70 とすると推測値が実測値に近い値になることが分かった。式 3 は切片を調整済の式である。図 4.2.2 より式 3 と実測値を重ねると一致することが分かった。

$$\text{最高血圧} = 84.4 + 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} \quad (\text{式 3})$$

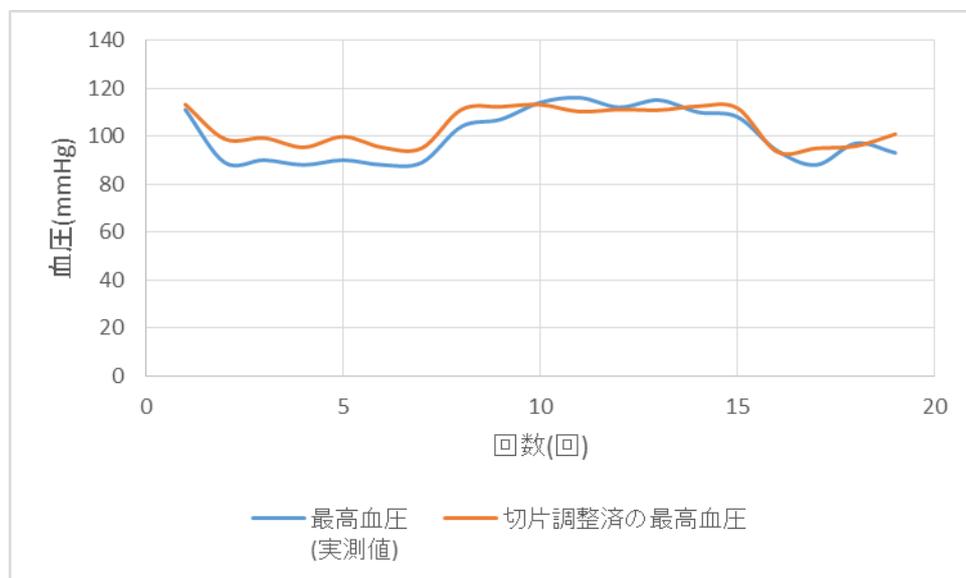


図 4.2.2 切片調整済のグラフ 7

4.3 被験者 C の測定結果

表 4.3 被験者 C の測定結果

回数(回)	最高血圧 (mmHg)	最低血圧 (mmHg)	脈拍 (bpm)	体温(°C)	体表温度 (°C)	酸素濃度 (%)	脳波	気温 (°C)	最高血圧 (推測値)	推測値と実測値の差
1	116	62	61	36.17	32.1	98	1	26	164	48
2	118	67	74	36.53	30.8	97	2	25	171	53
3	113	65	76	36.76	26.3	98	2	25	172	59
4	113	70	68	36.48	29.8	98	2	27	170	57
5	117	69	71	36.45	30.2	98	1	26	166	49
6	123	80	67	36.57	30.3	98	2	27	170	47
7	117	60	72	36.67	30.7	97	1	27	166	49
8	125	76	72	36.40	30.0	97	2	27	171	46
9	133	70	70	36.65	30.9	98	2	28	170	37
10	122	70	62	36.25	27.6	97	1	24	165	43

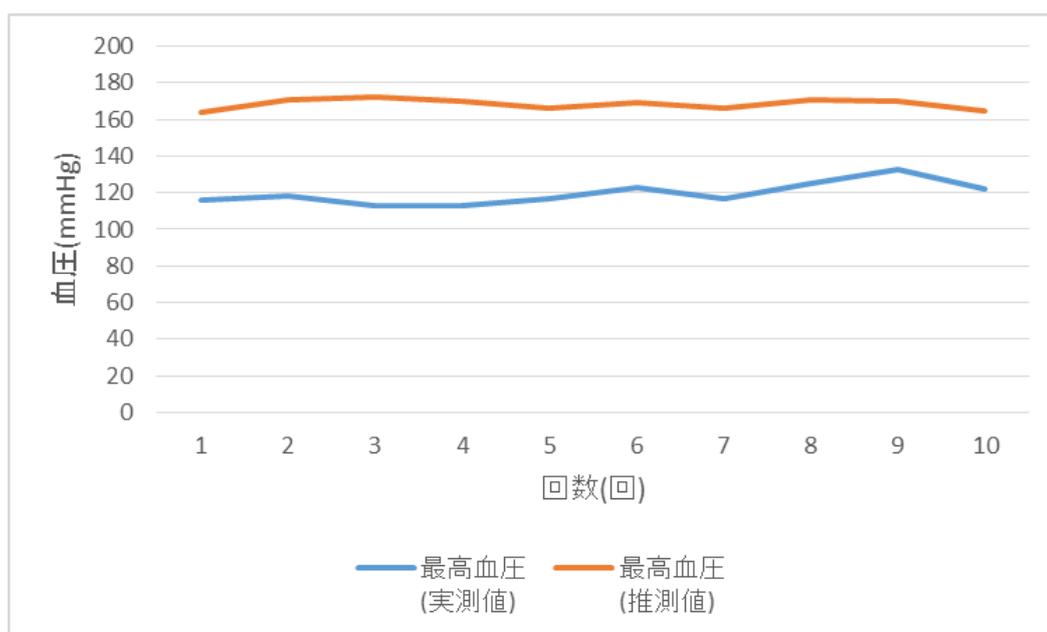


図 4.3.1 被験者 C のグラフ

4.3.1 被験者 C の分析結果

推測値と実測値の差をもとに式 1 の切片を-50 すると推測値が実測値に近い値になることが分かった。式 4 は切片を調整済の式である。図 4.3.2 より式 4 と実測値を重ねると一致することが分かった。

$$\text{最高血圧} = 104.4 + 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} \quad (\text{式 4})$$

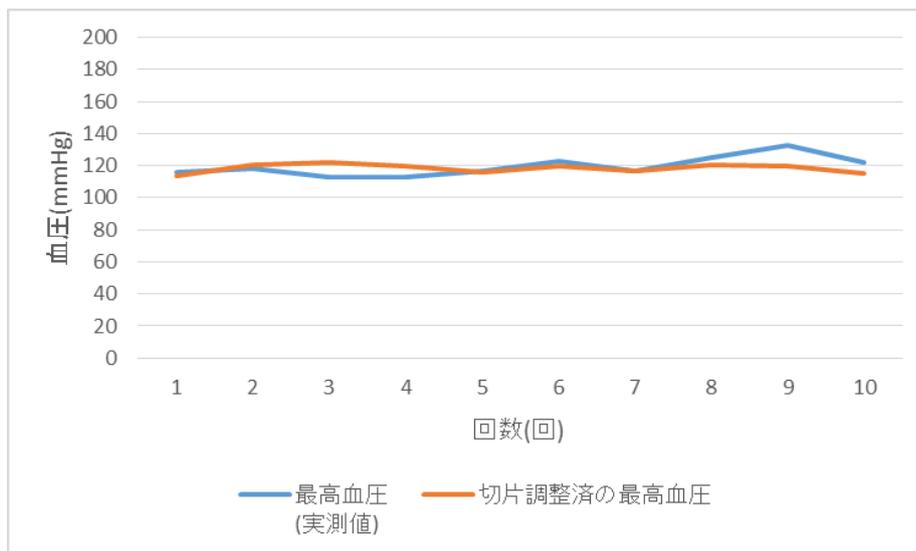


図 4.3.2 切片調整済のグラフ

4.4 被験者 D の測定結果

表 4.4 被験者 D の測定結果

回数(回)	最高血圧 (mmHg)	最低血圧 (mmHg)	脈拍 (bpm)	体温(°C)	体表温度 (°C)	酸素濃度 (%)	脳波	気温(°C)	最高血圧 (推測値)	推測値と実測値の差
1	130	74	82	36.43	31.4	98	2	23	172	42
2	130	66	93	36.56	28.4	98	3	27	179	49
3	125	57	118	36.63	29.4	97	3	26	184	59
4	125	39	72	36.49	30.0	97	3	26	175	50
5	135	64	120	36.45	32.6	98	3	26	183	48
6	133	70	105	36.45	29.5	98	3	26	181	48
7	136	68	110	36.49	29.4	98	3	26	182	46
8	138	69	103	36.52	29.3	97	3	26	181	43
9	140	66	102	36.62	28.6	98	3	26	181	41
10	134	70	110	36.64	28.4	98	3	27	182	48
11	133	68	114	36.58	30.8	97	3	27	183	50
12	135	68	115	36.50	29.5	98	3	26	183	48
13	113	57	61	36.30	29.3	98	2	25	169	56

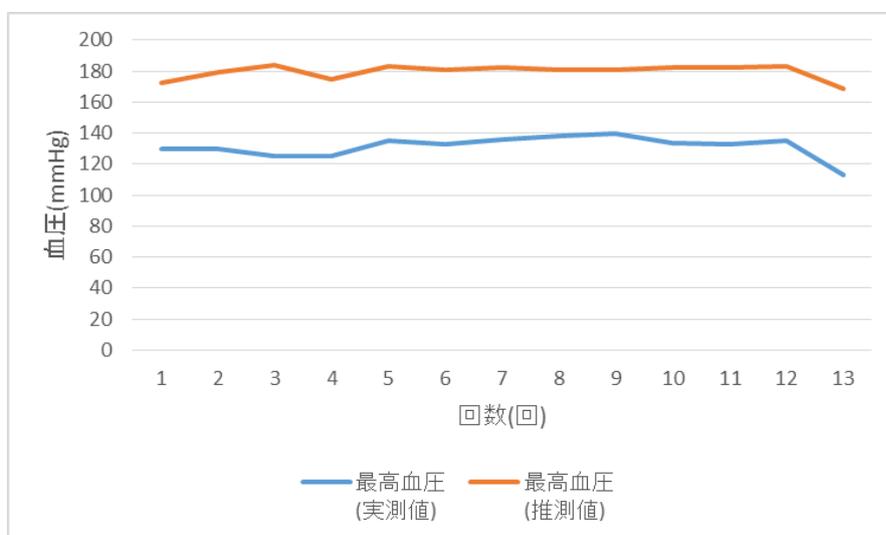


図 4.4.1 被験者 D のグラフ

4.4.1 被験者 D の分析結果

推測値と実測値の差をもとに式 1 の切片を-50 すると推測値が実測値に近い値になることが分かった。式 5 は切片を調整済の式である。図 4.4.2 より式 5 と実測値を重ねると一致することが分かった。

$$\text{最高血圧} = 104.4 + 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} \quad (\text{式 5})$$

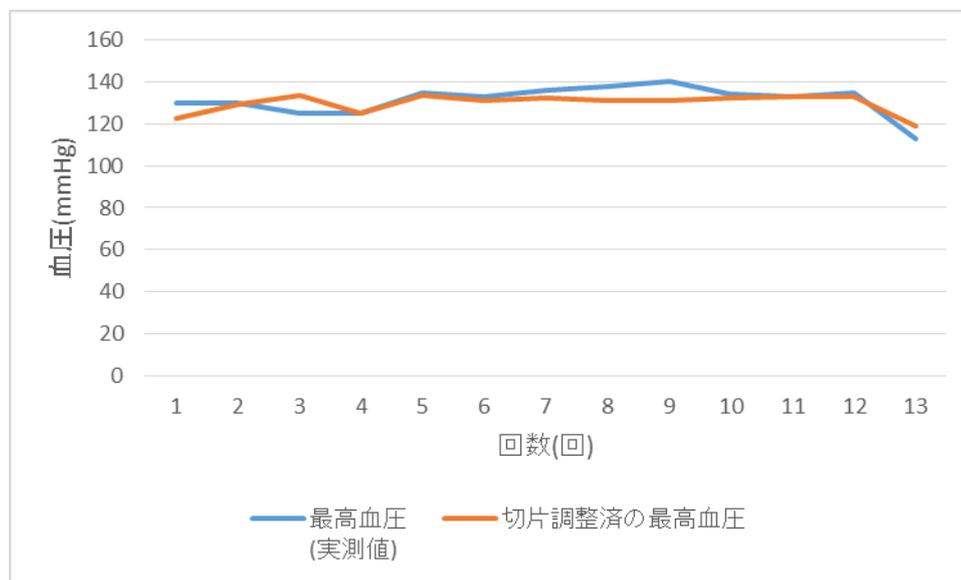


図 4.4.2 切片調整済のグラフ

4.5 考察

実験 1 の結果から血圧以外のバイタルサインから血圧を推測することは可能であることが分かった。しかし、表 5.4 から最低血圧ほどのバイタルサインも相関係数が低く推測が難しいことが分かった。このようなことになる原因として考えられるのは、筋肉は収縮しかできない特性により最低血圧つまり、心臓が血液を心室に溜め込んで膨らむときは心臓の筋肉に力が入っておらず、心室に流入する血液によって膨らむことになる。従って、最低血圧は心臓の筋肉に力が入っていない状態での血圧なのでバイタルサインに変化がないのだと考えられる。

実験 2 の結果から、血圧は個人差があるが、式 1 の切片を調節することで様々な人に適用することができた。つまり、脈拍、体表温度、脳波の微分係数は全ての人に共通することになる。しかし、式を利用可能にするにはその人に合った切片を求めて、式を完成させる必要がある。そこで、最初に最高血圧、脈拍、体表温度、脳波を測定して得られた値を式に代入することで切片を得ることができる。よって、最高血圧を説明する式は以下ようになる。

$$\text{最高血圧} = 0.19043 \times \text{脈拍} - 0.19043 \times \text{体表温度} + 4.1175 \times \text{脳波} + b$$

$$b = \text{最高血圧} - 0.19043 \times \text{脈拍} + 0.19043 \times \text{体表温度} - 4.1175 \times \text{脳波}$$

今回の実験では平常時、運動時、喫煙時、入浴後のバイタルサインを取得したが、もっと多くのアクションやデータ数を増やせばより正確な推測が可能だろう。

4.6 システムの動作

血圧のモニタリングには脈拍計と脳波計と表面温度計を装着して同期させ、3.7.1 の式 1 を用いて連続的に最高血圧を予想できる。0 時から測定を開始して、その日の最高血圧が更新されと推測されるたびに利用者へ警告し、0 時でリセットすることを繰り返し測定することで血管系の急性疾患を予防できるシステムとなると考える。

第5章 おわりに

本研究では血圧以外のバイタルサインを測定し、取得した情報から血圧を推測して血圧の異常がみられるときに利用者へ通知することで休憩を促し、血管の負荷を抑えるシステムを提案し、その実現に必要な機能が動作するか実験した。実験結果から血圧以外のバイタルサインから血圧を推測することは可能であると分かった。連続的に血圧を知ることができるので、血圧管理を細かく行うことができ、大動脈解離やくも膜下出血など血圧の変化によって引き起こされる急性疾患の予防や再発防止に役立つことが期待できる。実験では落ち着いている状態、運動中、喫煙中、運転中のデータを用いたが、他のアクションやデータ数を増やして正確な重回帰式を得ることが今後の課題である。

謝辞

今回の研究、論文作成を行うにあたり、ご指導頂きました三好力教授に深謝いたします。また多忙の中、日頃の議論にご協力くださった同三好研究室の皆様や、学友の皆様に心より感謝いたします。

参考文献

- [1]毛利 博, 血圧の科学, 日刊工業新聞社, 2017, 2
- [2]石村 友二郎, 統計学の基礎のソ, 東京図書株式会社, 2019, 2
- [3]柳澤 幸雄, エクセル統計学, 株式会社アイ・ケイコーポレーション, 2015, 4
- [4]エクセル・マクロブックを使った多変量解析 (最終閲覧日:2020年1月13日)
<https://okonomimura.wixsite.com/free>
- [5]特定非営利活動法人 日本高血圧学会 (最終閲覧日:2020年1月13日)
<https://www.jpnhsh.jp/>
- [6]国立循環器病研究センター (最終閲覧日:2020年1月13日)
<http://www.ncvc.go.jp/>