

自律神経活動の1週間の測定テスト

白水重憲*, 片山宗哲*, 白水陽久**

要旨 超小型心電・加速度・皮膚温度データロガーを使用して, 自律神経活動を含む生活行動のパラメータの1週間に亘る測定が可能である事を確認した。装置付け替えの間の時間, 入浴等により外していた時間, 体動等により電極の状態が悪くなって心電が測定できていない領域が点在しても, 1週間の間の被験者の挙動を把握する事は可能であった。また, 今後の為の改良のポイントも把握できた。

キーワード: ECG, 長時間連続測定, アーチファクト, 自律神経活動

1. 緒言

我々は超小型データロガー群を開発し, 幼稚園児・保育園児の1週間までの睡眠・覚醒リズム, 活動量, 皮膚温度の変動パターンや, 幼稚園児の24時間の自律神経活動挙動, 更に成人の東日本関東大地震の瞬間の自律神経活動やその後の混乱の中での活動挙動を報告してきた。

一方, 自律神経活動を含む生活行動を連続して1週間測定する事は, 複数の装置の付け替えを必要とし, 電極の存在が被験者に及ぼす負担の度合いも判らない事から, 我々の超小型装置をもってしてもまだ未踏載の状態であった。本研究では, 夏休み中の高校2年生1名を被験者として, 超小型心電・加速度・皮膚温度測定装置による1週間の生活行動パラメータの測定を試みた。

測定を実施したのは2011年の8月22日から8月29日までの1週間である。気温の高い夏季にこの調査を試みたのは, 発汗が, 測定にデータや人体に及ぼす影響を把握する為である。また, 被験者は, 新学期初頭の実力試験を控えて, 家に籠りきりで勉強していた時期であり, 外出は殆どなく活動は少なかった。本調査

のもう一つの目的は, このような状態でのこの被験者の自律神経活動挙動の把握である。

2. 実験

2-1 測定

被験者は東京都内の高校に通う高校2年生である。測定には既に報告している装置を使用し, 前報と同様胸部に装着した。日常の生活行動の中での測定を行うために, 厳密な装置交換時刻は設定せず, 被験者の生活行動を優先し, 区切りの良い所で装置を交換した。また, 被験者の状態は, 目視でもモニターした。

2-2 解析

データ解析は既に報告しているソフトウェアをベースに行ったが, QRS ピーク検出機能は, 必ずピーク頂上を検出するように改良を施した。

ECG データから求めたRR間隔時系列データより, 1分間毎に平均心拍数や交感・副交感神経活動の指標を求めた。更に, RR間隔変動の視察によりその1分間の値を選択・除去する機能を解析ソフトウェアに付与し, 除去する場合は, 以後の解析の為にこの3つのパラメータを異常値である事を示す為に-1と設定した。

前報で詳細に報告したように, 3軸加速度データの成分毎の変動の最大値を睡眠・覚醒判定する為にその1分間が活動あるいは非活動であるかを決定する為に

*NPO法人セルフケア総合研究所

**麻布高校2年

受付日: 2011年11月28日

採択日: 2011年12月24日

使用し、この活動・非活動の1分間の時間的な分布挙動に基づきその1分間が睡眠あるいは覚醒であるかを推定した。また、加速度ベクトルの大きさの変動の絶対値を1分間毎に積算し、その1分間の活動量とした。この活動量は、既に報告している関係式を使用して、消費エネルギーの値に換算して出力した。一方、1分間の3軸加速度の各成分毎の平均値を基に、その1分間の被験者の姿勢を決定した。

皮膚温度も1分間毎の平均値を求めた。

これらの1分間毎のパラメータを表示した基本画面において、皮膚温度データの挙動より装置が人体より外れている時間領域を目視により判断し、画面上でその範囲を指定して除去した。以後の解析に使用する為に、この領域に属する1分間は、ECGデータからの3つのパラメータを-1に、皮膚温度を-10に、活動量を0に、姿勢を表すパラメータを-1に設定した。また、人体に装着直後は、皮膚温度のパラメータが実際よりも低くなってしまふ事がある為、このような領域も画面上で領域を指定して-10と設定した。

解析ソフトウェアは、これらの1分間のパラメータの時系列をファイルとして出力する。これらのファイルを入力し、適宜加工・表示する2次解析ソフトウェアを整備し、使用した。

3. 結果と考察

3-1 睡眠・覚醒挙動と活動量

図1に1週間の睡眠・覚醒挙動、活動量、平均心拍数及び皮膚温度の変動挙動を示す。細長いグラフの1行が1日のデータを示し、その左側の表示がデータに関する情報(1回の測定データを1日分として、1日目、2日目・・・)を示す。表示開始時刻は0:00であり、1時間毎に灰色の縦線のマーカーが表示されていて、最下段に時刻が記されている。測定開始時刻の任意性に対応する為に、グラフの表示範囲は24時間では無く、36時間としている。

覚醒と判定された領域は薄い黄色(上半身垂直)或いは薄い緑(上半身水平)で、睡眠と判定された領域は薄い青(上半身水平)或いは薄いピンク(上半身垂直)で塗りつぶされている。黒い線は活動量(フルスケール0-10 kcal)、緑は平均心拍数(0-180)、赤は皮膚温度(20-40℃)を示す。

夏休み中の高校生が1週間家に籠って勉強していた際のデータなので、1日の活動量は表1に示すように、294 kcal~417 kcalの範囲と小さい。

また、睡眠は不規則で時に分断しており、表2に示すように、1日目は15:11からの3時間の睡眠と3:40からの4時間17分の睡眠に、2日目は17:31からの3時間1分と6:01からの4時間13分の睡眠に分断されている。3日目以降は分断が無くなり、5:04から5時間31分の睡眠、4日目は4:25から6時間54分の睡

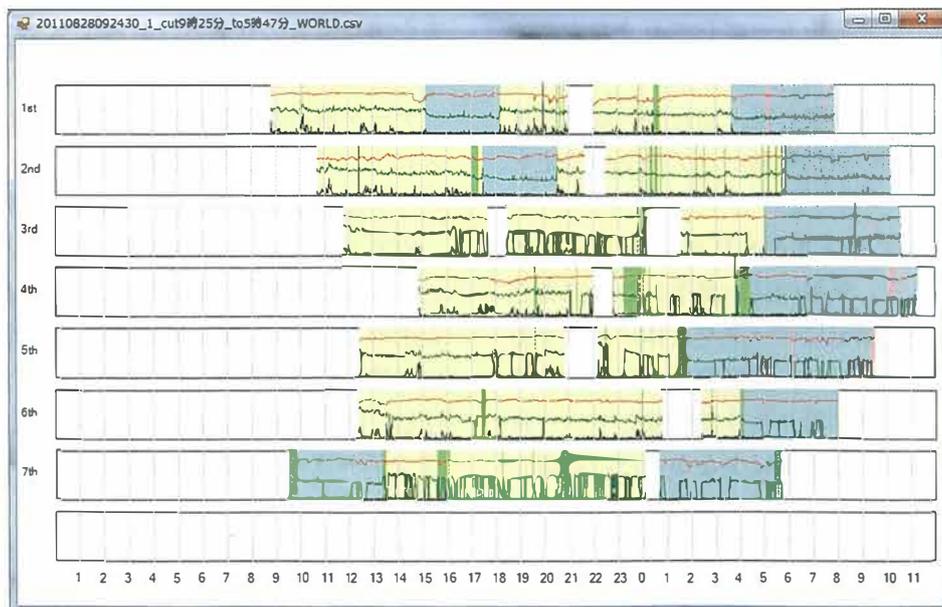


図1 1週間の睡眠・覚醒挙動と活動量、心拍数、皮膚温度

表1 覚醒時の生活行動パラメータ

	Measured length	EEPA (kcal)	Skin Temp. (°C)			HR (beats/min)			PSNS Act. (msec ²)			SNS Act. (n.u.)		
			Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
20110822084232.csv	14:51	416.9	35.7	37.0	31.6	82.0	109.0	60.0	529.5	2374.1	61.6	4.3	23.3	0.5
20110823104037.csv	15:27	379.6	35.3	37.1	33.1	80.0	119.0	58.0	719.0	3797.0	30.3	4.1	22.3	0.2
20110824114947.csv	15:06	383.8	35.7	36.6	34.0	81.0	108.0	61.0	570.7	3168.1	52.9	4.3	21.9	0.4
20110825144933.csv	12:46	341.6	35.7	36.8	33.6	81.0	105.0	57.0	573.6	7401.6	55.9	4.2	17.4	0.6
20110826122625.csv	12:03	294.5	36.2	37.1	35.0	81.0	128.0	64.0	665.2	2627.2	14.6	4.4	24.6	0.5
20110827122314.csv	14:11	315.1	35.6	36.5	33.7	76.0	114.0	55.0	981.8	4992.0	27.8	3.1	22.8	0.2
20110828092430.csv	11:29	310.1	35.9	36.5	34.6	83.0	100.0	59.0	683.8	4797.9	47.1	3.5	28.5	0.1
		348.8	35.7			80.6			675.8			4.0		

眠, 5日目は1:48から7時間45分の睡眠となっている。6日目の4:08から3時間50分の睡眠と7日目の9:51から3時間32分の睡眠は1つの睡眠に途中覚醒があったとみるべきであろう。7日目の0:09からの5時間16分の睡眠までの時間間隔は11時間程度と短い。結局, 1日8時間程度の睡眠はとっているようである。徹夜して頑張った, 或いは暑くて寝苦しくて寝られないということで睡眠時間がずれて短くなっても, 外的な拘束がなく自由に行動できる環境下では, 体が求める所に従って眠ってしまうものと思われる。ここで示された事実は, また, 何らかの事情で身体的活動が十分にできず睡眠できない者が, 精神的作業を行い疲労する事で睡眠できる可能性をも示唆する。

夏季の測定であり発汗が多かったと見えて, 装置の外れた或いは外された領域は多く, 電極の接触が悪くなりECGデータだけおかしくなった領域は更に多い。しかしながら, データの欠落箇所は結構多いものの, この被験者の1週間の挙動を把握するには問題が無い事が判った。このように, 最悪に近い環境下でも十分な情報を得ることができる事が判った。現在, 準備中のより汗による落下・移動等に強い電極を使用すれば, より欠落の無いデータが得られるものと思われる。

目視結果及び姿勢・心拍数データからは睡眠中である事は明白であるのに, 微小体動が多いために睡眠と判定されない場合が認められた。1日目と2日目の1回目の睡眠の最初の領域, 1日目の2回目の睡眠, 2日目の2回目の睡眠の1部, 3日目の睡眠の一部, 4日目の睡眠の大部分及び5日目の睡眠の最初の部分である。睡眠時無呼吸等による鼾が激しい場合にこのようになる事は既に報告しているが, この被験者の場合, 鼾は無かった。一方, このような場合, 表2に示すように, 睡眠時姿勢変動回数が多い傾向にあった。暑さによる寝苦しさ, 或いは, 覚醒時の身体活動が小さいことに

起因する微小体動が多かったものと思われる。本研究では, これらの領域は目視結果等に基づきマニュアルで設定した。睡眠・覚醒判定の為に微小体動に関するスレシホールドのチューニングによりこの問題は解決できる可能性が大きい。

睡眠時姿勢は仰臥位が一番割合が多いが, その割合はいつも90%程度というわけではなく, 60から70%程度が多い。左右側臥位, うつぶせの割合が20%程度になる場合もあり, すべての姿勢が見られる。(表2) 仰臥位の割合が97.6%と一番大きい2日目の2回目の睡眠では姿勢変動回数が2回であった。一方, 仰臥位の割合が57.6%であり, 左右側臥位が13.3%と19.6%出現した5日目の睡眠では, 姿勢変動回数が37回であった。今回の調査の場合, 睡眠時姿勢の分散が大きくなるのは寝苦しさにによる姿勢変動と関連している可能性がある。

3-2 平均心拍数と皮膚温度

図1に示すように平均心拍数は睡眠・覚醒挙動ときれいに対応し, 睡眠時の平均心拍数の平均は58~67であり, 更にその平均は61.0(表2), 一方, 覚醒時平均心拍数の平均は76~83でその平均は80.6である(表1)。

図1で, 5日目の22時ごろ, 心拍数はかなり上昇する。この日の覚醒時最高心拍数の128.0はこの時のものである(表1)。一方, この時点の活動量はさほど大きくなく, 覚醒時全体で総和しても294.5kcalと小さい。45階のタワーマンションに居住する被験者はこの日, 地下2階から45階までの階段の上り下りを行っている。階段の上りは非常に労力を要し, 心拍数はすぐに200程度まで上昇する。一方, 階段を上る際の体の動きは素早いものとはなりえず, 発生する加速度は小さくなる。この為に, ここで示されているようなデータとなった訳である。階段登りは, タニタやオム

表2 睡眠時の生活行動パラメータと姿勢、交感・副交感神経活動の分布

	Sleep			Postural Chg. No.	Skin Temp. (°C)			HR (beats/min)			PSNS Act. (msec ²)			SNS Act. (n.u.)		
	Start Time	End Time	Length		Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
20110822084232.csv	15:11	18:09	3:00	5	35.8	37.0	35.2	61.0	83.0	54.0	1092.9	2579.9	299.9	2.0	13.8	0.1
20110822084232.csv	3:40	7:55	4:17	18	35.5	36.3	34.1	59.0	84.0	53.0	1714.4	7615.6	473.7	2.0	14.1	0.2
20110823104037.csv	17:31	20:30	3:01	5	35.4	36.6	34.5	59.0	82.0	51.0	1372.5	2829.1	113.1	1.5	10.2	0.1
20110823104037.csv	6:01	10:12	4:13	2	35.3	36.3	33.2	60.0	75.0	54.0	1358.7	9651.7	425.2	1.7	20.6	0.1
20110824114947.csv	5:04	10:33	5:31	17	35.4	36.0	34.5	62.0	75.0	55.0	1378.5	8645.4	100.0	1.8	9.9	0.2
20110825144933.csv	4:25	11:17	6:54	28	35.7	36.8	33.9	61.0	85.0	53.0	1632.1	8542.0	213.3	1.6	9.3	0.1
20110826122625.csv	1:48	9:31	7:45	37	35.6	36.7	32.8	58.0	88.0	48.0	1986.8	4728.0	194.6	1.2	7.8	0.1
20110827122314.csv	4:08	7:56	3:50	11	35.4	36.1	34.1	58.0	69.0	54.0	2501.0	5686.7	905.5	0.8	7.0	0.1
20110828092430.csv	9:51	13:21	3:32	17	35.7	36.5	34.3	64.0	77.0	55.0	1418.4	3505.5	444.2	1.9	6.8	0.2
20110828092430.csv	0:09	5:23	5:16	16	35.3	36.8	0.0	67.0	90.0	59.0	1230.6	3110.3	76.4	1.2	6.4	0.1
				16	35.5			61.0			1568.6			1.6		

Postural Distribution (%)					SNS Act. (%)						PSNS Act. (%)					
longl.	right lat.	supine	left lat.	prone	Over grade 5	grade 5	grade 4	grade 3	grade 2	grade 1	Over grade 5	grade 5	grade 4	grade 3	grade 2	grade 1
0.0	0.6	85.5	1.1	12.9	0.0	63.3	20.0	11.1	3.3	1.7	0.0	37.8	28.3	22.2	10.6	0.6
3.5	0.4	85.2	3.5	7.4	0.0	65.8	22.6	8.2	1.6	1.6	4.7	72.8	17.5	3.9	0.8	0.0
0.0	12.2	72.8	15.0	0.0	0.0	76.2	14.4	6.6	1.7	0.6	0.0	59.7	26.0	11.1	2.2	0.6
0.0	0.0	97.6	2.4	0.0	0.4	69.6	21.7	5.9	2.0	0.0	1.2	54.9	28.1	12.7	2.8	0.0
1.5	20.6	58.2	13.9	5.8	0.0	71.0	20.9	3.0	4.4	0.3	1.4	49.5	26.9	16.2	5.7	0.0
4.8	19.6	57.6	13.3	4.6	0.0	74.3	18.1	3.6	3.0	0.9	4.7	64.5	16.6	11.5	2.1	0.3
3.0	0.4	66.6	11.4	18.5	0.0	81.0	14.0	3.9	0.8	0.0	7.7	79.1	7.1	3.3	1.1	1.4
0.0	7.0	72.1	13.5	7.4	0.0	89.8	6.3	2.4	0.8	0.0	28.4	66.1	4.7	0.0	0.0	0.0
0.0	3.8	67.8	17.5	10.9	0.0	62.4	28.0	7.5	1.6	0.0	3.2	53.8	21.0	17.7	3.8	0.0
0.4	15.6	61.8	0.0	22.3	0.0	83.5	11.9	3.4	0.6	0.0	1.1	44.9	17.1	17.1	11.4	8.0
1.3	8.0	72.5	9.2	9.0	0.0	73.7	17.8	5.6	2.0	0.5	5.2	58.3	19.3	11.6	4.0	1.1

ロンの万歩計の最新機種を使用しても、ゆっくりした歩行としか認識されなかった。

階段登りで上昇した心拍数は、その後徐々に低下し、3時間後に再び低い心拍数で安定している。階段登りが被験者の体に与える負荷が大きい事が示唆される。

測定が夏季に行われた為か、皮膚温度には睡眠・覚醒で大きな相違が認められない。

3-3 自律神経活動

図2に1週間の睡眠・覚醒挙動と交感・副交感神経活動の変動挙動を示す。緑の線が副交感神経活動の指標、赤の線が交感神経活動の指標である。一般的に睡眠時は交感神経活動が小さく、副交感神経活動が大き

くなり、覚醒時は交感神経活動が大きく、副交感神経活動が小さい。しかしながら、覚醒時の副交感神経活動も結構大きく、場合によってはその後の睡眠と同程度の場合もある。(2日目2回目の睡眠)

表1に示すように、覚醒時の副交感神経活動の指標の平均値は570.7~719.0 msec²に分布するが、981.8 msec²という値を示す事もあり、平均は657.8 msec²である。一方表2に示すように、覚醒時の副交感神経活動の指標の平均値は1092.9~2501.0 msec²に分布し、平均は1568.6 msec²である。

覚醒時の交感神経活動の指標は3.1~4.3で、平均値は4.0である。睡眠時は0.8~2.0に分布し、平均は1.6である。

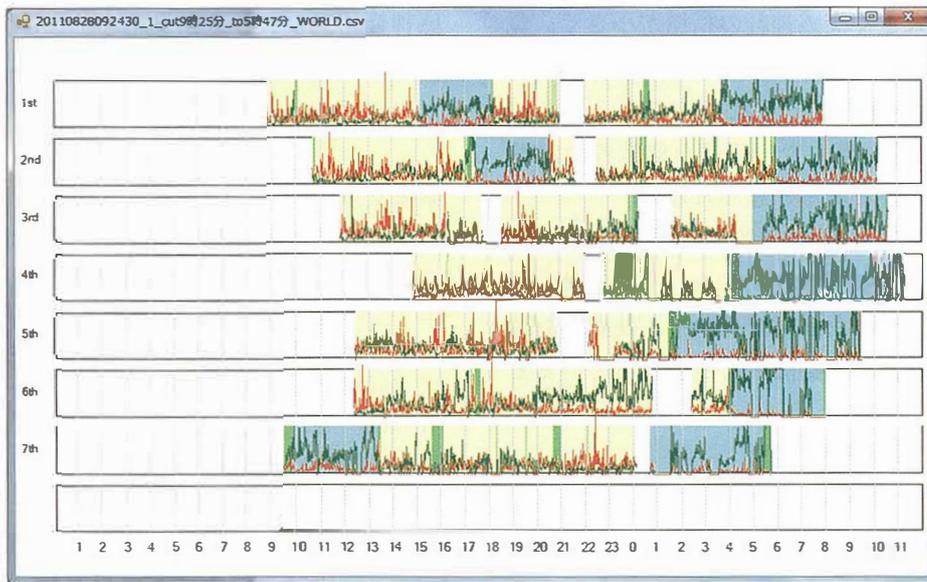


図2 1週間の睡眠・覚醒挙動と交感・副交感神経活動

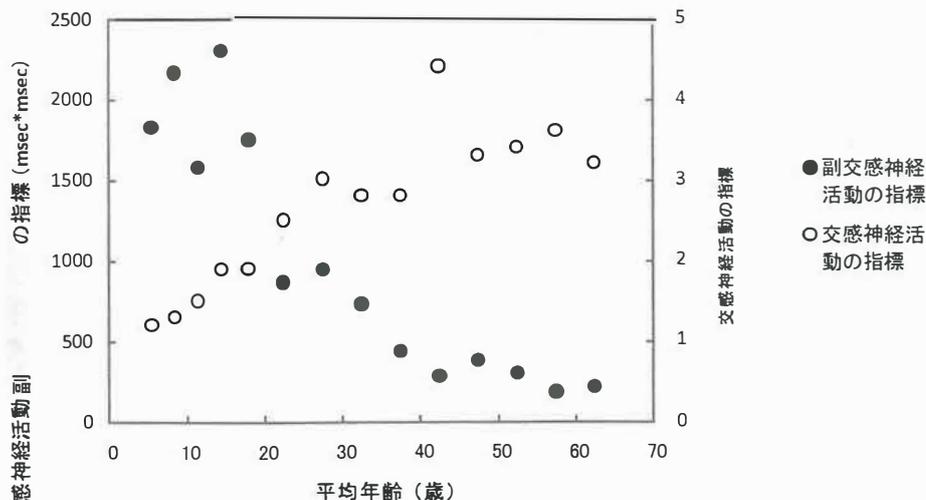


図3 日本人男性の副交感神経活動と交感神経活動の指標の年齢依存性 (ホルター心電計による24時間測定結果に基づく)

図3に日本人健常男性の交感・副交感神経活動の指標の平均値の平均年齢依存性を示す。これは、フクダ電子の24時間ホルター心電計によるデータを同社のソフトで解析したものを改変したものであり、同社のシステムでは睡眠・覚醒の識別ができないので、24時間の平均として求められている。16~19歳(平均年齢17.5歳)の場合は、副交感神経活動の指標の平均値(標準誤差)は1749.5 msec² (566.5), 交感神経活動の指標の平均値(標準誤差)は1.9 (0.4)と報告されている。

我々の睡眠時の副交感・交感神経活動の指標の測定値は、ここで報告されている値と良く符合するが、覚醒時の副交感神経活動の指標は小さめ、交感神経活動の値は大きめである。しかしながら、睡眠時に副交感神経活動の指標が大きく交感神経の指標が小さく、覚醒時には副交感神経活動の指標が小さく交感神経活動の指標が大きいというのは一般的傾向である。今後は、睡眠時・覚醒時を分離した一般的な健常者の24時間データの蓄積が必要であると思われる。

被験者は、1週間家に籠って勉強しているからといって、副交感神経活動が極端に減少し、交感神経活動が増加したイライラした状態では無く、交感神経活動は小さく、副交感神経活動は平常値を保っているといえる。

4. まとめ

超小型心電・加速度・皮膚温度データロガーを使用

して、自律神経活動を含む生活行動のパラメータの1週間に亘る測定が可能である事を確認した。装置付け替えの間の時間、入浴等により外していた時間、体動等により電極の状態が悪くなって心電が測定できていない領域が点在しても、1週間の間の被験者の挙動を把握する事は可能であった。また、今後の為の改良のポイントも把握できた。

夏休み中、家に籠って勉強している高校2年生の睡眠は不規則で分断している場合もあったが、1日大体8時間程度は寝ていた。活動量は小さかった。平均心拍数、交感・副交感神経活動の指標は、睡眠・覚醒にクリアーに対応して変化し、睡眠時は副交感神経活動が大きく、交感神経活動が小さく、平均心拍数は小さかった。一方覚醒時は、副交感神経活動が小さく、交感神経活動が大きく、平均心拍数は大きかった。被験者の自律神経活動は、1週間家に籠って勉強していても平常であったと考えられた。

参考文献

- 1) 白水重憲, 片山宗哲, 正木健雄: 幼稚園児の自律神経活動の24時間モニタリング. 全面発達の展開 1: 32-41, 2011.
- 2) 菅野久信, 白水重憲, 片山宗哲: 2011年東北地方太平洋沖地震及びその後の停電等に伴う混乱時のストレス及び身体的負荷の測定例. 全面発達の展開 1: 1-8, 2011.
- 3) 斎藤 憲, 大塚邦明, 久保 豊他: 生活スタイルに映る心拍・血圧のゆらぎ: ホルター心電計. 医学出版社, 東京, 2005.

One week's continuous monitoring test of activities of autonomic nervous

SHIGENORI SHIROUZU, SOTETSU KATAYAMA, AKIHISA SHIROUZU

Using our very small and light ECG, acceleration and temperature measuring device, one week's continuous monitoring test of the activities of autonomic nervous were performed. Although there were several barriers for long time ECG measurement, such as the necessity of device replacement due to their limited measuring duration and removal of device during taking bath etc. and deterioration of signal quality due to deterioration electrode condition etc., monitoring of the subjects sleep/awake rhythm, physical activity and activities of autonomic nervous were possible. We elucidated the points of measuring device and protocol to improve for the future study, too.

KeyWords: ECG, long time continuous monitoring, artifact, autonomic nervous