

ウエストベルト圧と呼吸運動

三野たまき 生活科学教育講座

The purpose of this paper is to clarify the cause of oscillations in clothing pressures developed by waistband (abbreviated to 'waistband-pressure'). We investigated the relationships of time changes among waistband-pressures (taken from 2 measuring regions on the abdomen), respiratory movements, and change of abdominal girth, which were all simultaneously recorded. Ten women subjects of 19 to 41 years old were used in this study, and their lengths of waistband were 99.8-94.3 % of nude girth at their waists (constriction ratio of waistband was 0.2-5.7 %). The subjects felt "tight", when they tightened up their waistbands at above ratio. FFT power spectra taken from four waves (two waistband pressures recorded 2 different regions, respiratory movements, and changes of abdominal girth) were approximately equal, and the patterns agreed closely (the frequencies of main peak in four spectra were 0.25 ± 0.09 Hz : Mean \pm SD). Namely, waistband pressures and abdominal girth changed in the same cycle of respiratory movements. Cross power spectra were approximately equal in each subjects, when they were analyzed in pairs chosen at random from the four waves and peaks of the power existed wider ranges than those of FFT power spectra (from 0.01 to 0.39 Hz). Coefficients of correlation calculated between the pairs chosen at random from the four waves were all particularly significant ($\alpha \leq 0.001$ or $\alpha \leq 0.01$). It is concluded from the results obtained that periodic changes of the abdominal girth caused by the respiratory movement are solely responsible to synchronized periodic changes of the waistband pressure.

1. 緒言

我々は液圧平衡方式による被服圧計測システム^(1~4)を用いて、これまで様々な服種の被服圧を測定してきた^(5~13)。その中で、ウエストベルト（以後ベルトとよぶ）を腹部に装着した時に、ベルトと皮膚との間に発生する被服圧（以後ベルト圧とよぶ）は、目視によると呼吸運動に伴って変化すると報告した^(5, 12)。しかし、本法以外の直接法を用いた被服圧測定の報告^(14~17)では、呼吸運動がベルト圧に影響を及ぼすことに言及していない。ところで、当然のことながら呼吸運動によって腹部周径は変動すると考えられる。そこで、上述のベルト圧と呼吸運動の関係を解明するために、腹部周径・呼吸運動・ベルト圧の3者の変動を波形解析した。

2. 実験方法

2-1. 被験者と実験ベルト

被験者（女子）の身体的特徴を表1に示す。被験者のローレル指数⁽¹⁸⁾は109.5~170.0であり、彼女らの体型は瘦身体から肥満体までの範囲にわたっていた。実験に用いたベルトは、たて糸がポリエステルスパン糸、よこ糸がナイロンフィラメント糸からなる平織の、幅2.5cmのインサイドベルト〔ベルトの厚さは 0.67 ± 0.08 mm ($n=10$, PEACOCK DIAL THICKNESS GAUGEを用いて測定)、織密度はたて・よこ両方向ともに14本/cm、定法（JIS, L1096¹⁹⁹⁰ 一般織物試験法）に従い、引っ張り試験した時の破断点における応力は 79.9 ± 16.7 kgf/2.5cm、伸び率は 36.1 ± 1.53 %〕であった。その詳細は既報⁽⁹⁾で述べた。被験者はそのベルトをウエストライン上に装着し、“きつい”と感じ

るまで締めた。その長さは被験者のヌード長の 99.8 ~ 94.3 % であった (締め率では 0.2 ~ 5.7 %)。

Table 1 Physical constitutions of subjects

Subject No.	Age	Height (cm)	Weight (kg)	B.G. (cm)	U.G. (cm)	H.G. (cm)	W.G. (cm)	Ratio (%)	Rohrer Index
①	19	154.0	40.0	78.4	70.3	80.4	55.8	0.9	109.5
②	19	158.0	46.0	81.5	74.3	91.6	64.7	2.2	116.6
③	19	151.5	42.0	81.5	72.5	88.5	62.6	2.9	120.8
④	18	155.5	45.5	77.5	71.4	89.2	59.9	0.2	121.0
⑤	21	160.3	51.0	84.0	76.0	92.4	69.1	3.2	123.8
⑥	19	155.1	46.5	82.0	71.6	89.2	62.1	3.5	124.6
⑦	19	160.0	54.5	82.8	73.0	90.3	68.5	5.4	133.1
⑧	41	159.3	56.6	91.2	77.7	93.2	72.1	5.7	139.8
⑨	19	149.0	51.5	81.9	73.8	93.8	65.0	0.3	155.7
⑩	21	161.8	72.0	98.5	88.1	108.1	83.7	2.9	170.0

B.G.: Bust girth, U.G.: Under bust girth, H.G.: Hip girth, W.G.: Waist girth
Ratio: Constriction ratio of the waistband to nude size

2-2. 測定部位と測定方法

本研究における測定部位を図 1 に示す。サーミスター (Thermistor、日本光電、YSI-402J) を、立位静止時の被験者の鼻孔付近にテープ止めし、呼吸運動のモニターとして呼気・吸気の温度測定を行った (図 1 の R)。胸郭ピックアップセンサー (Thoracic Pick Up、日本光電、TR-710S-720S) を腹部に装着し、腹部周径の変動を測定した (図 1 の G)。ベルト圧は、ウエストライン上の、右半身の前正中線から 3cm 体側寄りの垂線と、右体側線との交点の 2 部位 (順に図 1 の A と B) で測定した。

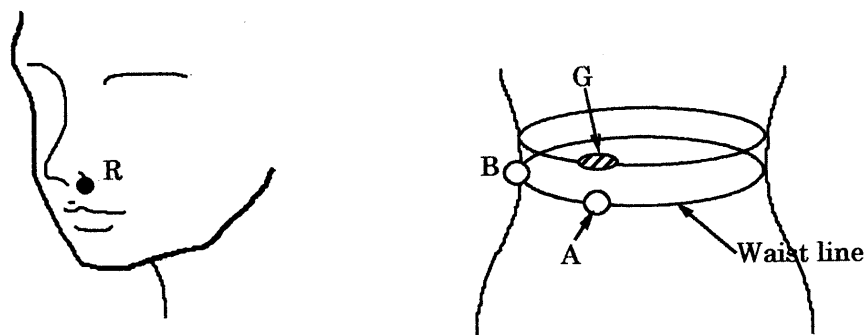


Fig. 1 Measuring regions for respiration, girth of abdomen, and waistband-pressure

R: thermistor fixed around nostril to measure the respiration, G: thoracic pick-up wound around abdomen to measure the girth of abdomen at 5 cm cranially from waist line, A and B: measuring regions for the waistband pressures at region A (on a line 3 cm from the anterior median line in right half of the body) and at region B (on the middle axillary line in right half of the body).

本研究で用いた液圧平衡方式による被服圧測定システムのブロックダイアグラムを図 2 に示す。ポーチ (Pouch、日本光電、TM-200T) からのベルト圧、サーミスターからの呼吸運動、胸郭ピックアップセンサーからの腹部周径の変動の信号をそれぞれアンプユニット (Amplifier、日本光電、AP-641G) で増幅し、オシロスコープでモニターしながらレコーダー (Pen Oscillograph、日本電気三栄、オムニエース RT2108A) を用いて実時間で記録した。これらの信号は同時にデータレコーダー (Magnetic Tape Recorder、TEAC、RD-111T) に磁気記録した。データレコーダーからの再生波形を、A/D 変換ボード [キッセイコムテック、AD12-16TA (98) H] を用いて、サンプリング周波数 100Hz でパソコンに取り込んだ。なお、本実験は人工気候室 (環境温度: 25.0 ~ 28.5 °C、相対湿度: 45 ~ 55 %、気流: 10 ~ 15cm/s、照度: 1000 ~ 1250 lux) において行った。

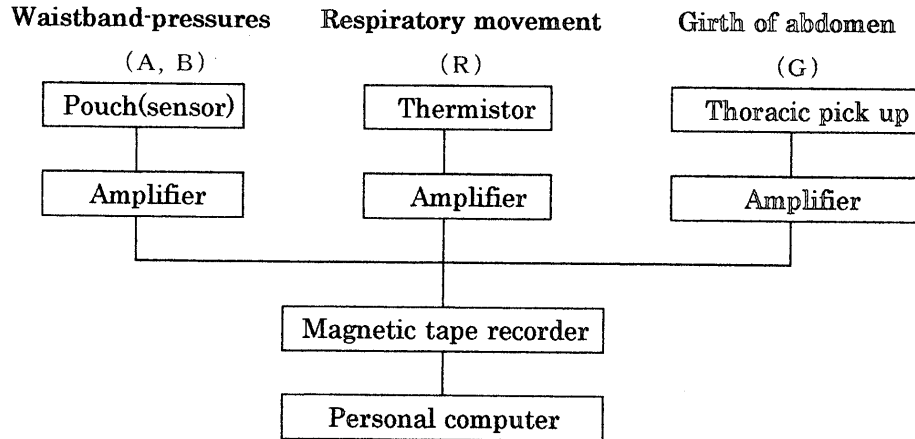


Fig. 2 A diagram of measuring methods used in this paper

2-3. 波形解析

2-2でAD変換した呼吸運動・腹部周径・ベルト圧（部位AとB）のデータから、それぞれの被験者ごとに約100呼吸分のデータを切り出し、その構成周波数を調べるために高速フーリエ変換（FFT）した（周波数分解能：0.012 Hz）。また、それぞれの被験者ごとにこれらのデータを、〔呼吸運動と腹部周径〕、〔呼吸運動と部位Aのベルト圧〕、〔呼吸運動と部位Bのベルト圧〕、〔腹部周径と部位Aのベルト圧〕、〔腹部周径と部位Bのベルト圧〕、〔部位Aと部位Bのベルト圧〕の6つの組み合わせを作り、その各々の組み合わせ（全被験者10名では60通り）において、クロススペクトル解析を行った。なお、これら60通りの組み合わせにおいて、同一時刻で対を組んだデータ間の相関係数を求めた。

3. 結果

被験者10名の呼吸運動の原波形は、目視で呼吸運動の頻度および振幅等の時間変動がほとんどないグループI、それらの時間変動が大きいグループIII、その中間のグループIIに分けて調べた。以下にそれぞれのグループの典型例を示す。

3-1. グループI（被験者⑧）

被験者⑧の立位静止時における、自然呼吸時の呼吸運動・腹部周径・ベルト圧（部位AとB）の取り込み時の4原波形を図3に示す。図3Rの波形の目視から、この被験者の呼吸運動の頻度、振幅および周期（呼吸期の長さ）は、3-2・3で後述する被験者②（図9）や⑩（図6）のそれらに比べて、より周期性が高かった。また、このような安定した呼吸運動は、被験者10名中5名（被験者④、⑥、⑦、⑧、⑨）においても観察された。

図3の4波形のそれぞれの構成周波数を調べるために、高速フーリエ変換（FFT）した。その結果を図4に示す。はじめ、0 Hz～50 Hzまでの周波数パワースペクトルを求めたが、20 Hz以上は全くの平坦であったので0 Hz～20 Hzまでの結果を示した。また、4つのパワースペクトルは、ともに2 Hz以内にパワーが集中していたので、更に横軸の周波数を2 Hzまでに拡大し、各波形の右肩に挿入した。呼吸運動・腹部周径・部位Aのベルト圧と部位Bのベルト圧の4周波数パワースペクトルは、それぞれ0.39 Hzに主ピークと0.80 Hz付近に小さなパワーのピークを持つことがわかった。すなわち、上記4波形はいずれも前述の2周波数成分から成り立ち、パワースペクトルの型は4波形間で完全に一致した。

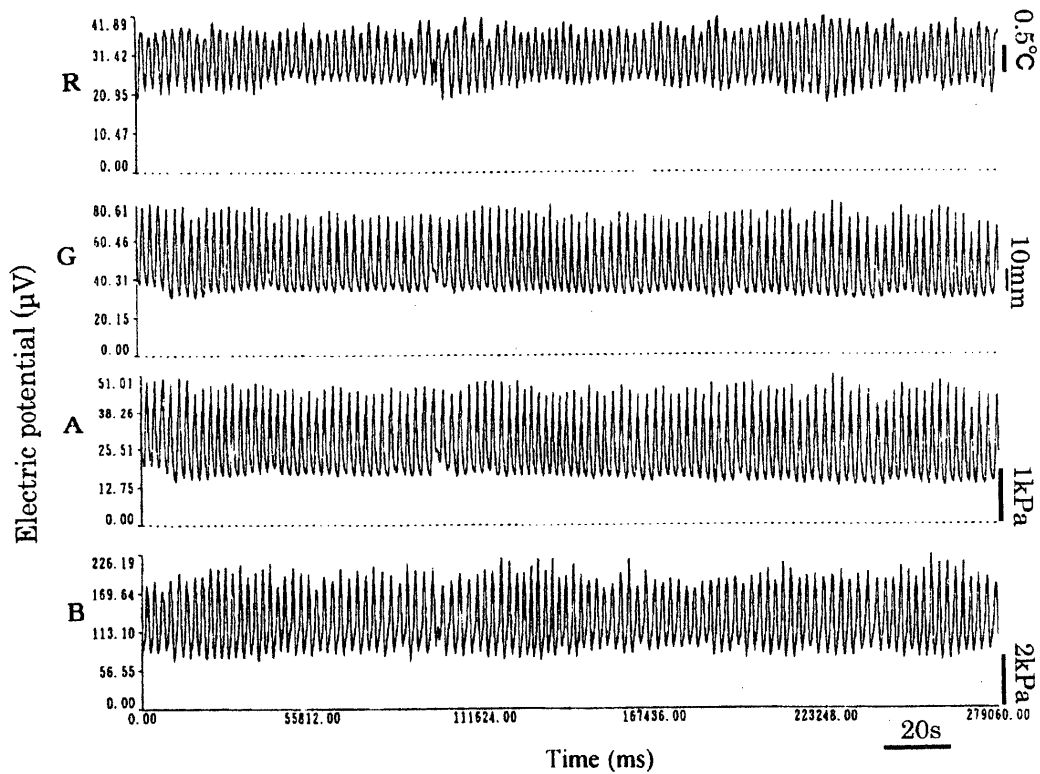


Fig. 3 Simultaneous records of respiration, girth of abdomen, and waistband-pressures

Trace R: respiration. Trace G: girth of abdomen. Trace A and B: waistband-pressures measured at regions A and B. See Fig. 1 for legends. Subject ⑧

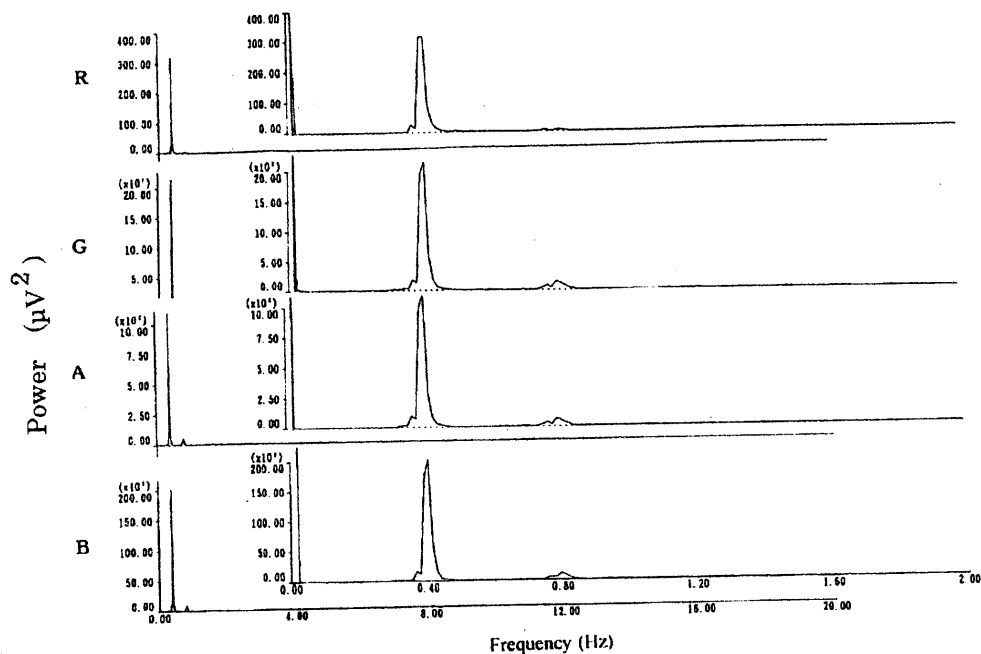


Fig. 4 Power spectra of the 4 waves (respiration, girth of abdomen, and waistband-pressures shown in Fig. 3)

Legends of R, G, A, and B correspond to those of Fig. 3. Frequency ranges to be analyzed are from 0 to 20 Hz. Each of abscissas inserted is enlarged from 0 to 2 Hz. Subject ⑧

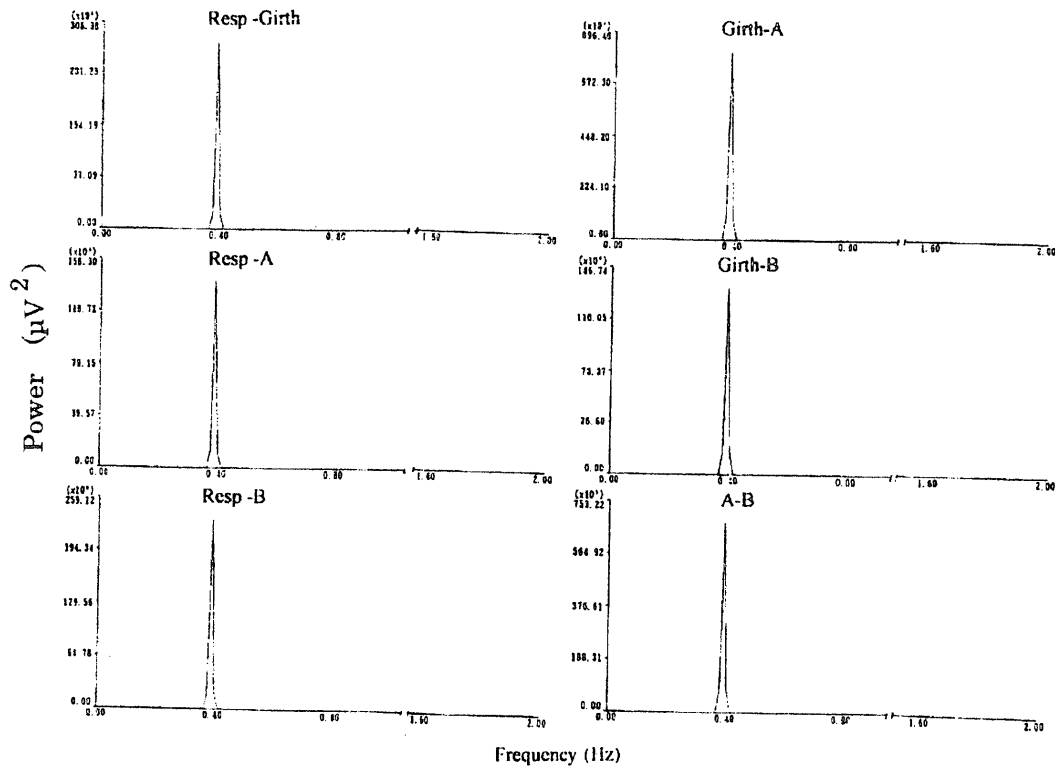


Fig. 5 Cross spectra of two waves arbitrarily picked out from the 4 waves shown in Fig. 3 (respiration, girth of abdomen, 2 kinds of waistband-pressures)

In the left half of the whole, top line: cross spectrum between respiration and girth of abdomen, 2nd (3rd) line: between respiration and waistband-pressure at region A (B). In the right side, top line: cross spectrum between girth and waistband-pressure at region A, 2nd line: between girth and waistband-pressure at region B, 3rd line: between waistband-pressure at region A and waistband-pressure at region B. Subject ③

つぎに、これら4つのパワースペクトルの中から任意に2つのそれを選んだ6つの組み合わせ〔(呼吸運動と腹部周径、Resp-Girth)、(呼吸運動と部位Aのベルト圧、Resp-A)、(呼吸運動と部位Bのベルト圧、Resp-B)、(腹部周径と部位Aのベルト圧、Girth-A)、(腹部周径と部位Bのベルト圧、Girth-B)、(腹部周径と部位Aのベルト圧と部位Bのベルト圧、A-B)]を求め、その結果を図5に示す。どの解析結果もパワーが2 Hz以内に集中していたので、横軸の範囲は2 Hzまでとした。6つの組み合わせ間のクロススペクトルは、どの組み合わせにおいても単一のピークとなり、それらの周波数は一致した(0.39 Hz)。また、被験者④、⑥、⑦、⑨では、被験者⑧と比べその構成周波数が異なるもの(順に0.37Hz、0.22Hz、0.16Hz、0.23Hz)、FFT解析の結果も単一のパワースペクトルとなることがわかった。なお、6つの組み合わせ間のクロススペクトルは、どの組み合わせにおいても単一のピークとなり、かつ、それらの周波数は6つの組み合わせ間で一致した(被験者④、⑥、⑦、⑨の結果は順に、0.37Hz、0.22Hz、0.13Hz、0.23Hz)。すなわち、グループIの全被験者の4原波形は、被験者固有の周波数(0.13～0.39Hz)で周期的に変動していることがわかった。

3-2. グループII (被験者⑩)

被験者⑩の立位静止時における、自然呼吸時の呼吸運動・腹部周径・ベルト圧(部位AとB)の取り込み時の4原波形を図6に示す。図6Rの波形の目視から、この被験者の呼吸運動の頻度、振幅および周期(呼吸期の長さ)は、グループIの被験者(3-1で前述)よりも不規則であるが、グループIIIの被験者(3-3で後述)より規則正しかった。また、このような呼吸運動は、被験者10名中2名(被験者①、⑩)においても観察された。

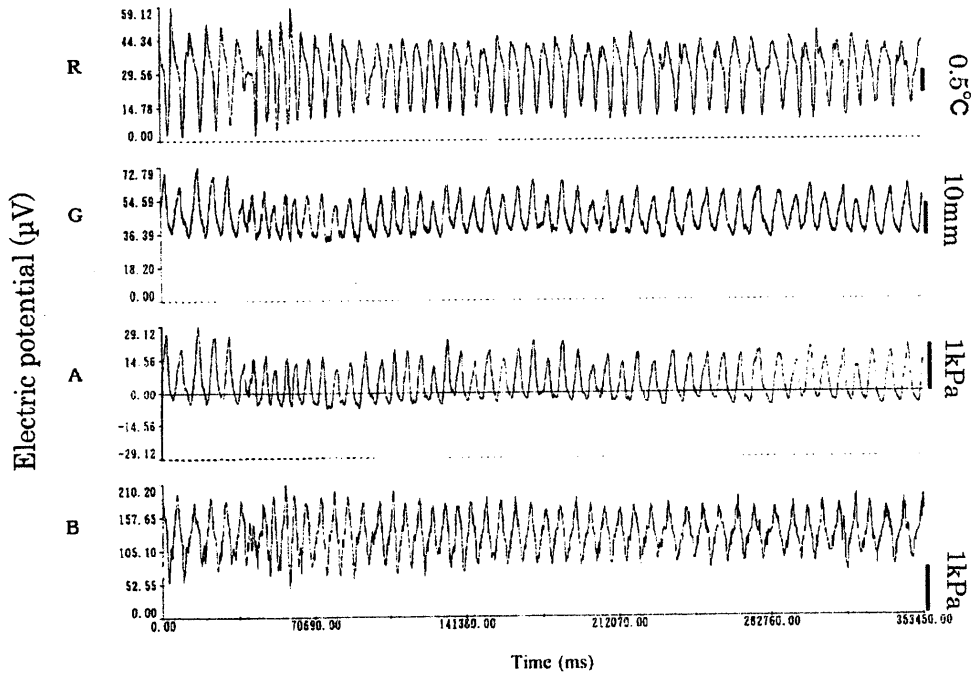


Fig. 6 Simultaneous records of respiration, girth of abdomen, and waistband-pressure

See Fig. 3 for the legends. Subject ⑩

4原波形(図6)のFFT解析の結果を図7に示す。はじめ、0 Hz ~ 50 Hz までの周波数パワースペクトルを求めたが、2 Hz 以上は平坦であったので、0 Hz ~ 2 Hz までの結果を示す。呼吸運動・腹部周径・部位 A のベルト圧と部位 B のベルト圧の4周波数パワースペクトルは、それぞれ 0.16 Hz にパワーを持つ、ブロードな分布となった。すなわち、呼吸運動・腹部周径・部位 A のベルト圧と部位 B のベルト圧の4波形間の構成周波数はどれも等しく、パワースペクトルの型は4波形間で完全に一致した。

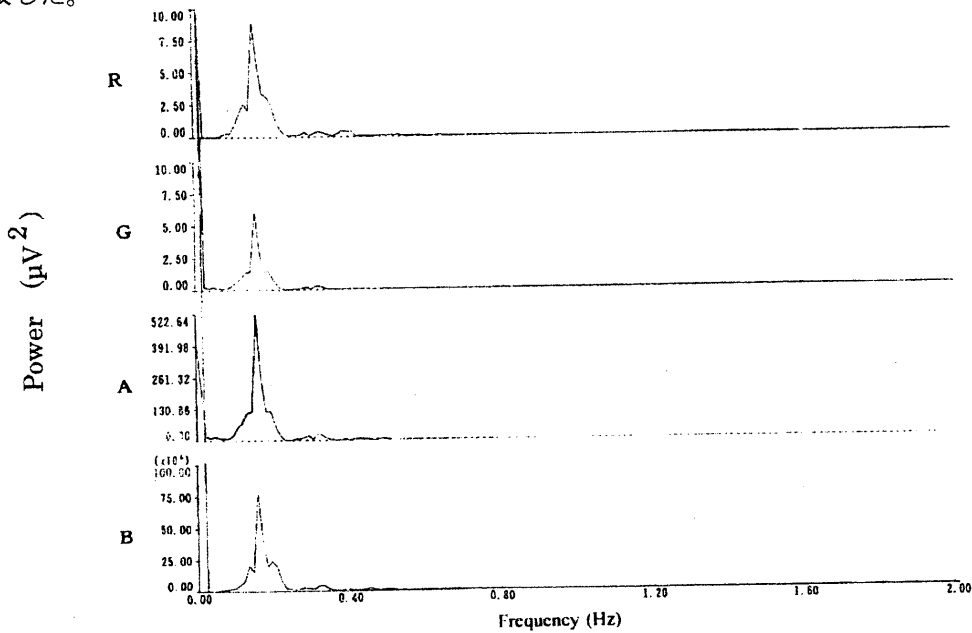


Fig. 7 Power spectra of the 4 waves (respiration, girth of abdomen, and waistband-pressures shown in Fig. 6)

See Fig. 3 for the legends. Frequency ranges to be analyzed are from 0 to 2 Hz. Subject ⑩

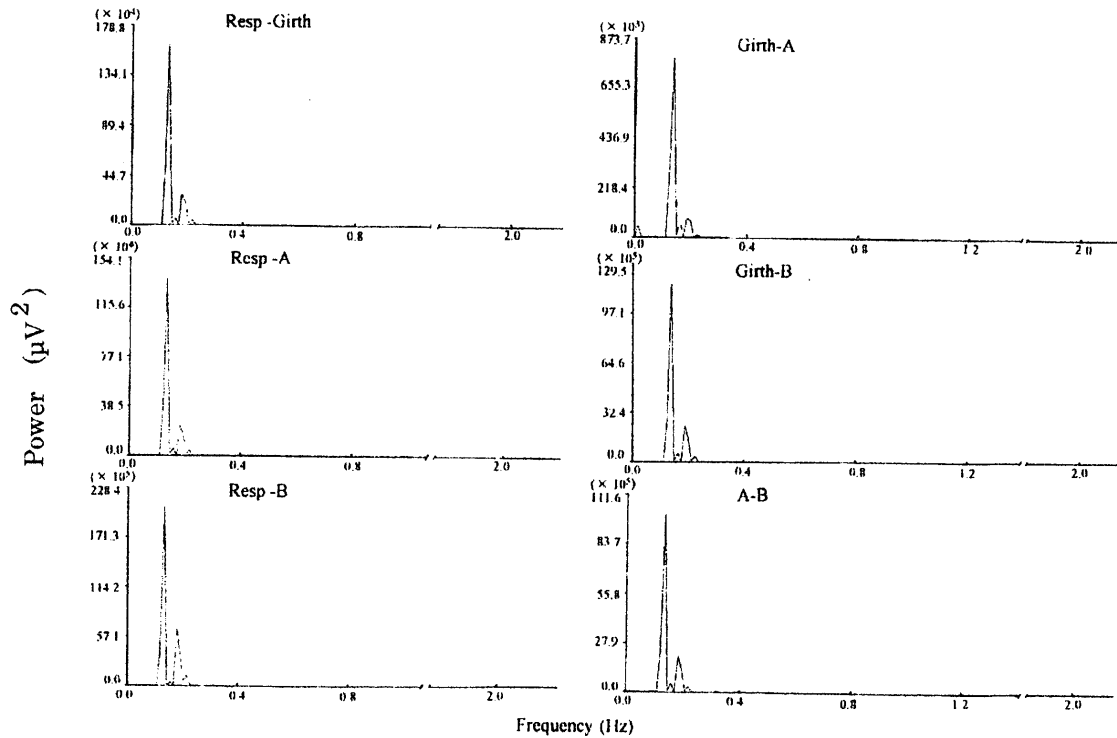


Fig. 8 Cross spectra of the two waves arbitrarily picked out from the 4 waves shown in Fig. 6 (respiration, girth of abdomen, 2 kinds of waistband-pressures)

See Fig. 3 for the legends. Subject ⑩

つぎに、これら4つのパワースペクトルの中から任意に2つのそれを選んだ6つの組み合わせ(3-1参照)において、クロススペクトル解析を行った。その結果を図8に示す。どの解析結果もパワーが2 Hz以内に集中していたので、横軸の範囲は2 Hzまでとした。6つの組み合わせ間のクロススペクトルは、どの組み合わせにおいても主に2つのピークが観察され、それらの周波数は一致した(0.13 Hzと0.18 Hz)。また、被験者①では、被験者⑩と比べその構成周波数が異なるものの(0.12 Hz)、FFTの結果は単一のブロードなパワースペクトルとなった。また、6つの組み合わせ間のクロススペクトルは、どの組み合わせにおいても主に1つのブロードなピークとなり、かつ、それらの周波数は一致した(0.12 Hz)。すなわち、グループIIの全被験者の4原波形は、被験者固有の周波数(0.12~0.18Hz)で周期的に変動していることがわかった。

3-3. グループIII (被験者②)

被験者②の立位静止時における、自然呼吸時の呼吸運動・腹部周径・ベルト圧(部位AとB)の取り込み時の4原波形を図9に示す。図9Rの波形の目視から、この被験者の呼吸運動はグループIとIIの被験者に比べ、その頻度、振幅、呼息期の長さ(周期)が最も不規則であった。また、このような呼吸運動は、被験者10名中3名(被験者②、③、⑤)においても観察された。

4原波形(図9)のFFTの結果を図10に示す。はじめ、0 Hz~50 Hzまでの周波数パワースペクトルを求めたが、2 Hz以上は平坦であったので、0 Hz~2 Hzまでの結果を示す。呼吸運動・腹部周径・部位Aのベルト圧と部位Bのベルト圧の4周波数パワースペクトルは、それぞれ3~4本のピークが観察されたが、どれも0.05Hz以下と0.3 Hz付近にパワーのピークが集中した。そして、この被験者の呼吸運動・腹部周径・部位Aのベルト圧・部位Bのベルト圧の4波形の構成周波数は、どれもよく似たパワースペクトルの型を示すことがわかった。

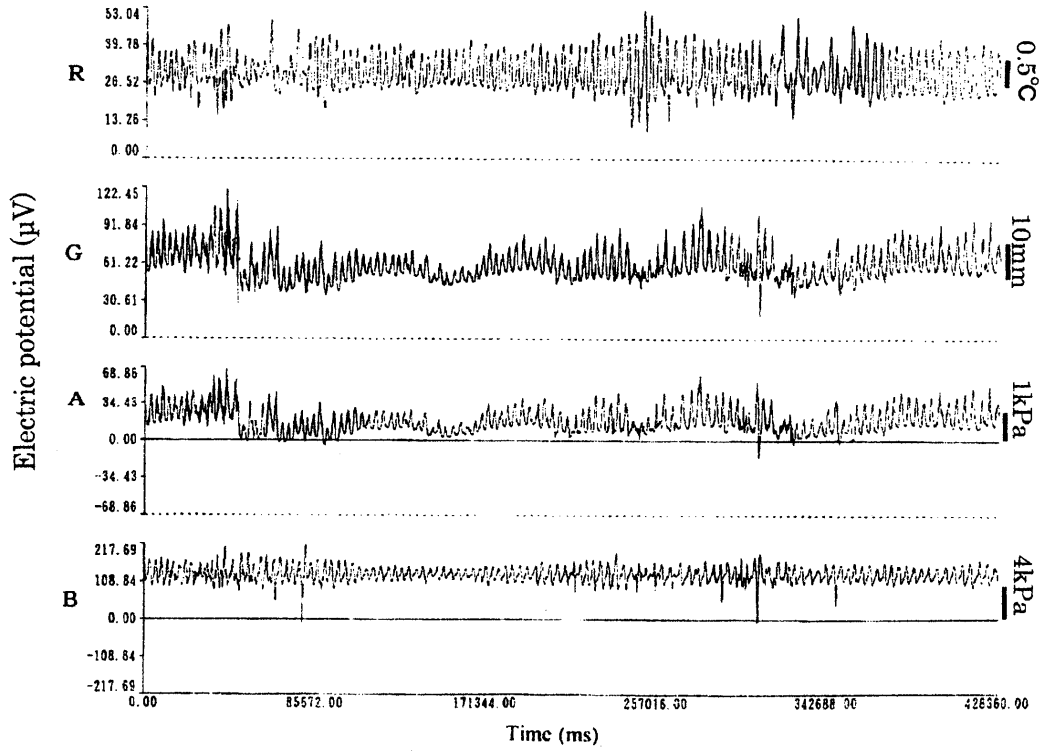


Fig. 9 Simultaneous records of respiration, girth of abdomen, and waistband-pressure

See Fig. 3 for the legends. Subject ②

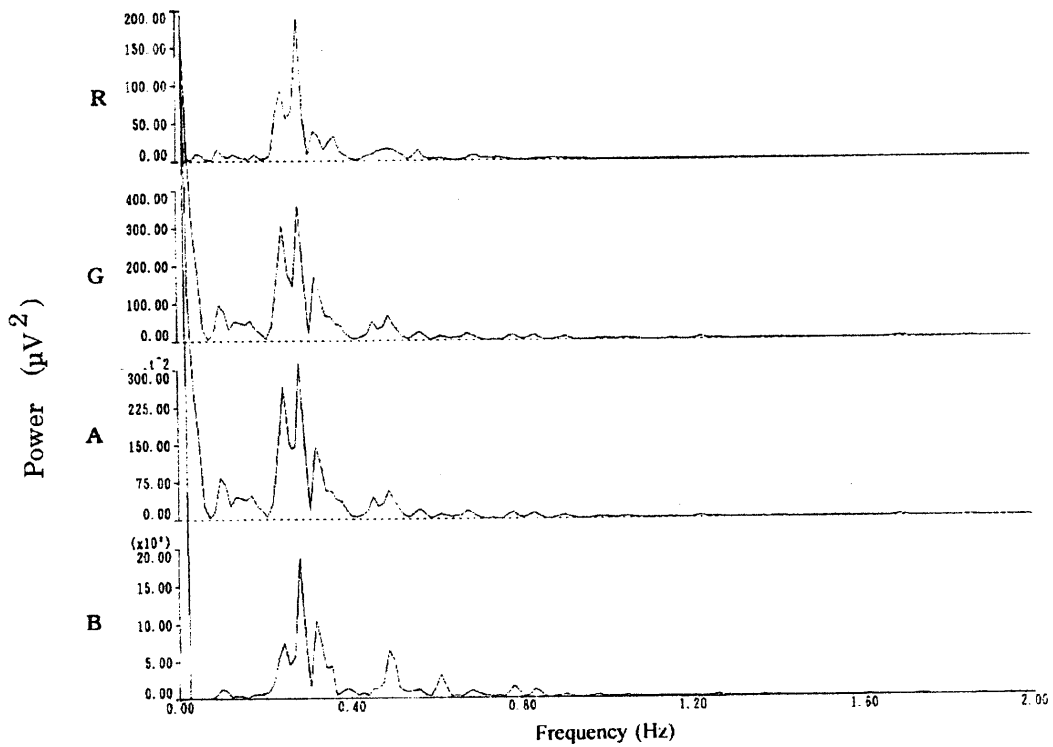


Fig. 10 Power spectra of the 4 waves (respiration, girth of abdomen, and waistband-pressures shown in Fig. 9)

See Fig. 3 for the legends. Frequency ranges to be analyzed are from 0 to 2 Hz. Subject ②

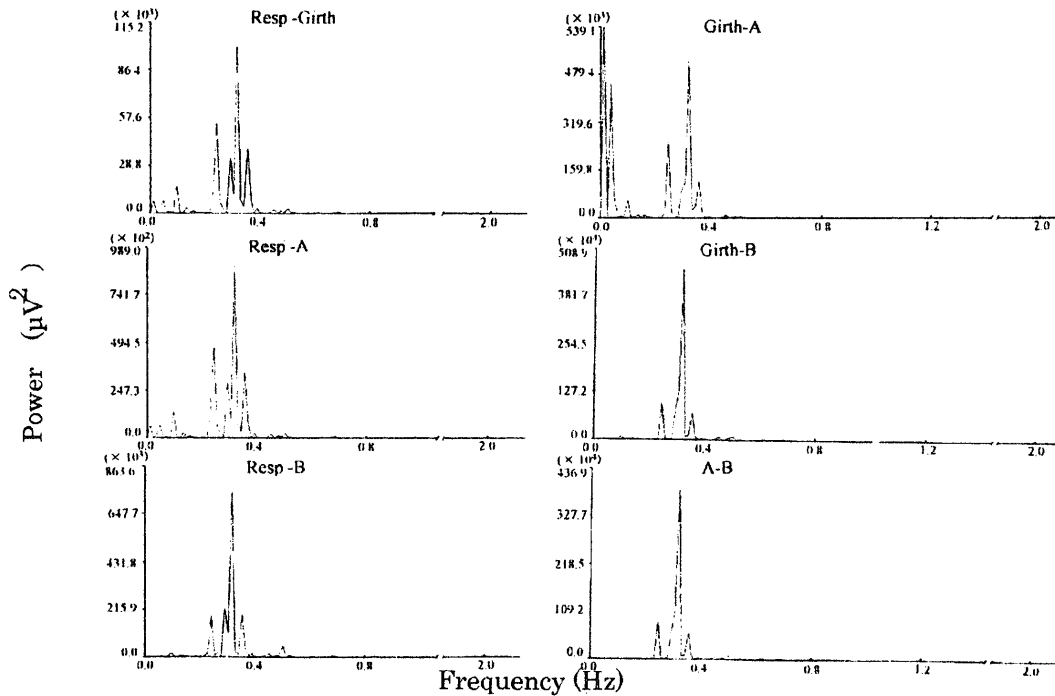


Fig. 11 Cross spectra of the two waves arbitrarily picked out from the 4 waves shown in Fig. 9 (respiration, girth of abdomen, 2 kinds of waistband-pressures)

See Fig. 3 for the legends. Subject ②

つぎに、これら4つのパワースペクトルの中から任意に2つの波形を選んで作った6つの組み合わせ（3-1参照）において、クロススペクトル解析を行った。その結果を図11に示す。どの解析結果もパワーが2 Hz以内に集中していたので、横軸の範囲は2 Hzまでとした。呼吸運動と、腹部周径・部位AとBのベルト圧の3つの組み合わせのクロススペクトル解析の結果（図11の左図）から、そのそれぞれの組み合わせにおいて主に4つのピークが観察され、それらの周波数はほぼ一致した（0.24 Hz、0.29 Hz、0.32 Hz、0.36 Hz）。ところが、腹部周径と部位AおよびBのベルト圧間の組み合わせにおいては、前述の3つの組み合わせの結果と、ピーク数や周波数が一致しなかった（図11の右図）。同様に被験者③と⑤においても、呼吸運動と腹部周径・部位Aのベルト圧・部位Bのベルト圧の3つの組み合わせのクロススペクトル解析の結果は、被験者固有のピーク数を持ち周波数は一致した。しかし、腹部周径と部位AおよびBのベルト圧間の組み合わせにおいては、前述の3つの組み合わせの結果に比べ、ピーク数や周波数が異なった。このように、グループⅢの被験者は他のグループと異なり、呼吸運動を取り上げてみても、数種類の周波数の変動が含まれていることがわかった。また、6つのクロススペクトルのパワースペクトルの型が一致しないことから、4原波形は、被験者固有の周波数で周期的に変動しているのみならず、同一被験者においても、測定部位特異的な変動があることがわかった。

3-4. 4波形間の相関係数

3-1～3の結果から、全被験者の4原波形は互いに同期しながら、被験者固有の周波数で周期的に変動していることがわかった。しかし、同一時刻における変動の方向性に関しては、検討されていない。そこで、呼吸運動・腹部周径・部位Aのベルト圧・部位Bのベルト圧の4原波形の中から、任意の2波形を選び出して組み合わせ、6通りの組み合わせについて相関係数をもとめた。なお、解析にはそれぞれの組み合わせごとに同一時刻に測定された30000組のデータを用いた。その結果を表2に示す。全被験者10名について相関係数を求めたので、計60通りの相関係数を示した。これらの結果から、全被験者の全波形の組み合わせ間には、有意な正の相関係数があることがわかった（ $\alpha \leq 0.001$ あるいは $\alpha \leq 0.01$ ）。すなわち、息を吸う（吐く）と、腹部周径が増加（減少）し、部位AおよびBのベルト圧が高く（低く）なることがわかった。

Table 2 Correlation coefficients among respiration, girth of abdomen and waistband-pressures

Subject	Resp-Girth	Resp-A	Resp-B	Girth-A	Girth-B	A-B
①	0.489***	0.468***	0.790***	0.997***	0.350***	0.311 **
②	0.577***	0.572***	0.555***	0.995***	0.412***	0.367***
③	0.785***	0.773***	0.614***	0.996***	0.519***	0.456***
④	0.736***	0.748***	0.601***	0.994***	0.607***	0.555***
⑤	0.212 **	0.200 **	0.684***	0.985***	0.841***	0.172 **
⑥	0.489***	0.468***	0.790***	0.997***	0.350***	0.311 **
⑦	0.426***	0.407***	0.645***	0.998***	0.250 **	0.214 **
⑧	0.878***	0.882***	0.704***	0.998***	0.806***	0.799***
⑨	0.521***	0.501***	0.396***	0.998***	0.396***	0.351***
⑩	0.222 **	0.202 **	0.847***	0.998***	0.153 **	0.124 **

***: $\alpha \leq 0.001$, **: $\alpha \leq 0.01$ ($n = 30000$)

Resp: respiration, Girth: girth of abdomen, A: waistband-pressure at measuring region A, B: waistband-pressure at measuring region B

4. 考察

従来、被服の着心地は官能検査⁽¹⁹⁾ や布の力学的特性⁽²⁰⁾ から評価されてきた。ところで、生体の持つ様々な情報を時系列信号として取り出して解析する手法が、工学・医学の分野で盛んに行われている⁽²¹⁾。最近、この手法を用いて着心地を評価しようとする研究が盛んになってきた。例えば、平尾と八木⁽²²⁾は、布地の風合いを指で確かめるときに発生する上腕の筋電位の変化に着目し、得られた筋電図総平均波形と布地の力学的評価値・心理評価値との関係を調べている。また、堀場ら⁽²³⁾は、上着の着脱時の温冷感を明らかにするために脳波の α 波をカオス解析し、また、松平ら⁽²⁴⁾は、パジャマの着心地を明らかにするために、心拍変動スペクトルを解析した。これらはどれも、刺激に対するヒトの生理反応を指標として、得られた生体信号をスペクトル解析したものである。ところで、本研究で用いた被服圧は、着心地の指標となるものであるが、本研究では“きつい”と評価される強さの圧刺激のみを用いた。すなわち、本研究では着心地の差を問題としていない。これまで我々は、「目視によると、ベルト圧は呼吸運動に伴って変化しているようである」と報告してきた^(1 ~ 5, 12-25 ~ 28)が、両者の関連についての詳細な検討はしていなかった。そこで、本研究ではこのことを解明する目的で、ベルト圧の変化・呼吸運動・腹部周径変動の波形のスペクトル解析を行った。

図3に代表される最も呼吸運動が規則正しい被験者グループIでは、呼吸運動のFFT解析の結果は、ほぼ単一のパワーのピークを示した。他方、図9に代表される最も呼吸運動が不規則であったグループIIIでは、数本のパワーのピークが示され、両者の中間の図6に代表されるグループIIでは裾広の単一のピークとなった。このように、呼吸運動が不規則な被験者ほど、パワースペクトルのピーク数が増え、ピーク幅もブロードになることがわかった。これら呼吸運動のFFT解析の結果と腹部周径と部位A・Bにおけるベルト圧のそれと比較した。すると、被験者によって構成周波数パワースペクトルのピーク値は異なるものの、同一被験者では腹部周径と部位A・Bのベルト圧の構成周波数は、呼吸運動のそれとほぼ等しく、パワースペクトルの型も一致していた。すなわち、全被験者においても呼吸運動、腹部周径、部位A・Bにおけるベルト圧の4原波形は、被験者固有の周期($0.25 \pm 0.09\text{Hz}$)で変動していることがわかった。

ここで図4(図3の4原波形をFFT解析した結果)のパワースペクトルについて考える。これら4つのパワースペクトルには、それぞれ 0.39Hz に主ピークと 0.80Hz 付近に小さなパワーのピークがあった。ところで、基本周波数成分のノイズとして、その倍数倍の周波数にパワーが出現することがよく知られている。しかし、この現象は周期変動の立ち上がりの速い高周波においてみられる特有の現象⁽²⁹⁾なので、本研究の4原波形(構成周波数は 2Hz 以下)では、この種のノイズの存在は考えられない。それならば、上記の 0.80Hz 付近の小さなピークは、何に由来するのであろうか。通常フーリエ変換する場合、原波形のサンプリングには、求める最高周波数成分の周波数 f_m の1周期 $T_m = 1/f_m$ (秒)当たり最低2点が必要である⁽³⁰⁾。本研究においては、 2Hz 以上の成分は観察されな

ったので、上式より 4Hz 以上で原波形をサンプリングすれば良いことになる。本研究では、FFT 解析時の周波数分解能を高めたかったので、100Hz でサンプリングした。この点から言って、サンプリングの条件は充分満たしている。これらの点を考え合わせると、0.80Hz 付近のピークはアーティファクトではなく、何らかの生体の周期的な変動に由来すると思われる。これについては更に詳細な検討が必要である。

4 原波形における共通な周波数成分を調べるために、被験者ごとに呼吸運動・腹部周径・部位 A のベルト圧・部位 B のベルト圧の 4 原波形から任意の 2 波形を選んでクロススペクトル解析を行った。すると、全被験者のクロススペクトルのパワーのピークの周波数範囲は、FFT パワースペクトルのそれよりやや広範囲になった (0.01 ~ 0.39Hz)。それは、4 原波形の主構成周波数が等しくても、それぞれの組み合わせにおいて得られた位相の差が異なるために、パワーのピークの出現範囲が広範囲になったと考えられる。

被験者ごとに検討すると、グループⅢの結果を除けば、4 原波形から得た 6 つのクロススペクトルはどの組み合わせにおいても、その構成周波数とその型が一致していた。呼吸運動が最も不規則であったグループⅢであっても、呼吸運動とその他の 3 原波形間の組み合わせのクロススペクトルは、その構成周波数が等しく、かつ、パワースペクトルの型も一致した。このことから、腹部周径変動とベルト圧の変化は、少なくとも呼吸運動と同一の周期で変化していることがわかった。また、グループⅢの被験者の腹部周径とベルト圧の組み合わせのクロススペクトルは、図 11 の Girth-A と Girth-B のように、ベルト圧の測定部位によって構成周波数のピーク数が異なった。なぜ両スペクトルの構成周波数に違いが生じたのであろうか。

図 11 (クロススペクトル解析の結果) は、その生データである図 9 と、その前処理となる図 10 (図 9 の FFT 解析の結果) から求められた。図 9 の波形 R は、サーミスターをセンサーとして測定した呼吸運動、つまり、ヒトが今まさに外気を体内に取り込んでいるか吐き出しているかを表している。ところで腹部周径の変化を示す波形 G は、胸郭ピックアップセンサーを用いて測定したものである (図 1 参照)。この胸郭ピックアップセンサーは、全長が一様に伸縮するのではなく、伸縮可能なセンサー部 (図 1 中の G) と不伸縮性の部分から構成されている。波形 G は息を吸うことによって体内に取り込まれた吸気が腹部の容積を増し、周径に反映されて腹部周囲を引き伸ばしたことを表している。逆に息を吐けば腹腔内の容積は減少し、周径は短くなる。ただし、腹部の内部構造や組織の柔らかさは均一ではないので、吸気によってより伸ばされたり、呼気によってより縮む体部位差が当然生じたと考えられる。ちなみに、波形 G の測定部位は、ベルト圧を測定した部位 A の 5 cm 頭側寄り (ともに腹直筋上) であるのに対し、もう一方の被服圧測定部位 B (外腹斜筋上) は、センサー G から約 20 cm も離れていた (図 1 参照)。今後、センサー R と G の応答速度を明らかにし、4 原波形間の位相の差を明らかにする必要がある。

それぞれの被験者における呼吸運動、腹部周径、部位 A と B のベルト圧の 4 波形間の相関係数を表 2 に示した。その結果、全被験者の全組み合わせ波形の間には、有意な正の相関関係があることがわかった ($\alpha \leq 0.001$ あるいは $\alpha \leq 0.01$)。最も相関係数が大きく、かつ有意であった組み合わせは、全被験者ともに、腹部周径と部位 A におけるベルト圧間のそれであった (どの係数も 0.99 以上、 $n = 30000$)。これは前述した、呼吸運動が最も不規則な被験者②のクロススペクトル解析の結果でさえ、〔腹部周径と部位 A におけるベルト圧〕との間に特に密接な関係があったことを考えれば、当然の結果かもしれない。いずれにせよ、同一時刻に採取されたデータを用いて解析した、全被験者の全波形の組み合わせ間に有意な正の相関関係があった。このことから、息を吸うことによって腹部周径が長くなるが実験ベルトはほとんど伸びないので、ベルトと腹部との間に発生したベルト圧は高くなったと考えられる。逆に、息を吐き出すと腹部周径は短くなり、ベルト圧は低くなったと考えられる。以上のことから、呼吸運動に伴って腹部周径が変動し、これに同期してベルト圧が変動したと結論できる。今後着心地を研究する上で、“ちょうど良い”あるいは“ゆるい”と感じるようなベルトを結めた時の、呼吸運動・腹部周径・ベルト圧の関連も明らかにする必要がある。

5. まとめ

本報の目的は、ウエストベルト装着時に発生する被服圧（以後ウエストベルト圧とよぶ）の変動の原因を明らかにすることである。ウエストベルト圧（腹部の2部位から測定）、呼吸運動、腹部の周径変動を全て同時記録し、それらの時間的關係を詳細に検討した。被験者は19～41歳の女子10名で、ベルトの長さは被験者のヌード長の99.8～94.3%とした（締め率では0.2%～5.7%）。彼らは上記締め率で締めたベルトを“きつい”と感じていた。4波形（異なった2測定部位から記録したウエストベルト圧、呼吸運動、腹部周径の変動）から得られた高速フーリエ変換（FFT）のパワースペクトルは、ほぼ一致し（4波形間における主ピークは $0.25 \pm 0.09 \text{ Hz}$: Mean \pm SD）、その型もよく似ていた。このことから、ウエストベルト圧と腹部周径は、呼吸運動と同一の周期で変動していることがわかった。4波形から任意の2波形を選んでクロススペクトル解析を行ったところ、全被験者の構成周波数はほぼ等しかったが、FFTパワースペクトルに比べ、ピークが広範囲に出現した（0.01から0.39 Hz）。上記全組み合わせ波形間の相関係数を求めたところ、どの組み合わせにおいても有意な正の相関関係（ $\alpha \leq 0.001$ あるいは $\alpha \leq 0.01$ ）があった。以上の結果から、まず呼吸運動によって腹部周径の周期的な変動が生じる。これが原因となってウエストベルト圧の周期的な変動が生じることがわかった。

6. 謝辞

本研究は東京大学名誉教授上田一夫先生に、ご指導・ご校閲いただいた。感謝の意を表します。なお、この研究は共立女子大学家政学部生物学研究室の人工気候室・信州大学人工気象総合実験システムにおいて行った。

7. 参考文献

- 1) 三野たまき・間壁治子・百田裕子・上田一夫 (1991) 衣服圧測定に関する研究 (第1報) 液圧平衡方式による衣服圧測定、織消誌、32、362-367
- 2) 三野たまき・間壁治子・百田裕子・上田一夫 (1991) 衣服圧測定に関する研究 (第2報) 液圧平衡方式による衣服圧測定、織消誌、32、368-372
- 3) 三野たまき・上田一夫 (1994) 被服圧の測定、家政誌、45、179-188
- 4) 三野たまき (1999) 液圧平衡方式による被服圧測定法とその応用、博士学位論文 (共立女子大学大学院)、1-102
- 5) 三野たまき・間壁治子・百田裕子・上田一夫 (1991) ウエストベルト圧とその官能評価、織学誌、47、282-290
- 6) 間壁治子・百田裕子・三野たまき・上田一夫 (1991) ブラジャーの衣服圧に関する研究、織消誌、32、416-423
- 7) 間壁治子・百田裕子・三野たまき・上田一夫 (1991) ガードルの衣服圧に関する研究、織消誌、32、424-438
- 8) 間壁治子・百田裕子・三野たまき・上田一夫 (1992) 上肢動作と衣服圧パターンとの関係 (第3報) — ブラウスの衣服圧について —、織消誌、33、649-660
- 9) 間壁治子・百田裕子・三野たまき・上田一夫 (1992) 衣服圧に及ぼすウエスト部被覆の影響、織消誌、49、513-521
- 10) 百田裕子・間壁治子・三野たまき・上田一夫 (1993) 紳士用靴下の衣服圧について、織消誌、34、23-34
- 11) 百田裕子・間壁治子・三野たまき・上田一夫 (1993) 成人女子用ハイソックスの衣服圧について、織消誌、34、603-614
- 12) 三野たまき・上田一夫 (1997) ウエストベルト圧と比率尺度による圧感覚、家政誌、48、989-998
- 13) Mitsuno, T. and Ueda, K. (1998) The clothing pressure developed by yukata — in special reference to deformation of dressing and sensory evaluation —, *J. Home Econ. Japan*, 49, 255-267
- 14) 伊藤紀子 (1993) 被服圧計測のためのエアバッグ方式の使用性、家政誌、44、291-298
- 15) 天野敏彦・水口智恵・高田和美 (1996) 衣服圧変動のスペクトル解析、織学誌、52、83-86
- 16) 小南幸哉 (2002) 体圧・拘束圧計測とその校正、織消誌、43、348-355
- 17) Miyatsuji, A., Matsumoto, T., Mitarai, S., Kotabe, T., and Watanuki, S. (2002) Effects of clothing pressure caused by different types of brassieres on autonomic nervous system activity evaluated by heart rate variability power spectral analysis, *J. Physiol. Anthropol. and Appl. Human Sci.*, 21, 67-74
- 18) 日本家政学会 (1991) 『環境としての被服』、朝倉書店、東京、107
- 19) 小林茂雄 (1986) 被服の心理的特性、織学誌、42、378-383
- 20) 川端季雄 (1991) KES-Fシステムとその応用、織学誌、47、624-628
- 21) 鈴木良次・池田研二・佐藤俊輔・吉川昭ら (1989) 『生体信号計測と解析の実際』、コロナ社、東京、1-270
- 22) 平尾直靖・八木昭宏 (1997) 生理反応を用いた布地の風合い評価法の検討、織消誌、38、228-233
- 23) 堀場洋輔・上條正義・細谷聡・佐渡山亜兵・清水義雄・清水裕子 (1999) 脳波のカオス解析を用いた着脱衣における温冷感の評価、織学誌、55、440-446
- 24) 松平光男・高野成子・麻生典雄 (1999) 心拍変動スペクトル解析によるパジャマの着用快適感に関する検討、織消誌、40、51-55
- 25) 三野たまき・上田一夫 (1998) 唾液分泌量に及ぼす腹部圧迫刺激の影響 — 特に唾液分泌量の減少を引き起こす最小刺激圧について —、家政誌、49、1131-1138
- 26) 三野たまき・上田一夫 (1998) 手の皮膚温に及ぼす腹部圧迫刺激の影響、織学誌、54、555-561
- 27) 三野たまき・上田一夫 (1999) ウエストベルト圧と腹部皮下脂肪の厚さとの関係、家政誌、50、491-502
- 28) 三野たまき (1999) ウエストベルト圧の時刻変動 — 特に食事と月経周期の位相とに関連して —、織消誌、40、669-678
- 29) 久保寺忠 (2001) バッファICの駆動力と信号波形、トランジスタの技術、38、293-299
- 30) 森田清 (1984) 『フーリエ変換と情報処理』、オーム社、東京、1-19