

信州大学審査学位論文

体幹部への被服圧に伴う心理生理反応に関する  
多感覚統合の視点からの研究

2015年 9月

上前 真弓

# 目 次

第 1 章 序論.....	1
1.1. 研究背景.....	2
1.2. 着心地評価.....	2
1.3. 被服圧に関する着心地評価 .....	3
1.4. 多感覚統合の観点からの着心地評価.....	4
1.5. 心理反応および生理反応からの総合的な着心地評価.....	7
1.6. 中枢神経系および末梢神経系への被服圧の影響 .....	7
1.7. 研究目的.....	8
1.8. 論文構成.....	10
第 2 章 腹部への被服圧が心身に与える影響とその閉眼・開眼における比較 .....	13
2.1. はじめに.....	14
2.2. 予備実験：開眼状態における脳波計測のアーチファクト対策.....	15
2.2.1 目的.....	15
2.2.2 方法.....	16
2.2.3 結果.....	17
2.3. 腹部圧迫実験 .....	21
2.3.1 目的.....	21
2.3.2 方法.....	21
2.3.3 結果.....	25
2.3.4 考察.....	29
2.4. 検証実験：血圧測定による自律神経活動の検証.....	30
2.4.1 目的.....	30
2.4.2 方法.....	30

2.4.3 結果 .....	31
2.4.4 考察 .....	33
2.5. まとめ .....	33
第 3 章 輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響 .....	35
3.1. はじめに .....	36
3.2. 実験方法 .....	37
3.3. 結果および考察 .....	41
3.3.1 実験Ⅰ：	
輝度による視覚刺激の違いが被服圧に伴う生理反応へ与える影響 .....	41
3.3.2 実験Ⅱ：	
被服圧による圧覚刺激の変化，輝度による視覚刺激の変化，	
およびその両方の変化が生理反応へ与える影響 .....	45
3.4. まとめ .....	51
第 4 章 視覚からの被服圧情報が心身に与える影響 .....	53
4.1. はじめに .....	54
4.2. 実験方法 .....	54
4.3. 結果および考察 .....	57
4.3.1 自律神経活動 .....	57
4.3.2 脳活動 .....	59
4.3.3 官能検査 .....	59
4.4. まとめ .....	62
第 5 章 近赤外分光法を用いたウエストベルトによる被服圧下における脳活動計測 ..	63
5.1. はじめに .....	64
5.2. 実験方法 .....	64
5.3. 結果 .....	71

5.4. 考察 .....	75
5.5. まとめ .....	76
第 6 章 結論 .....	78
参考文献 .....	84
付録 .....	95
発表論文 .....	97
謝辞 .....	99

# 第 1 章

## 序論

## 1.1. 研究背景

近年，科学技術の発達や消費者ニーズの多様化に伴い，高機能繊維製品の開発がめざましく，被服はより快適性や機能性の富むものへ変化している．この変化の背景として，機能性素材の開発や生産加工技術の発達があり，接触冷感繊維，吸水速乾繊維，吸湿発熱繊維を用いたクールビズやウォームビズを支える温熱快適衣料，消臭加工や抗ウイルス性能を有する衛生機能品，健康志向の高まりによる運動機能向上や疲労軽減を目指したコンプレッションウェアなど他にも様々な付加価値の高い製品が市場に登場している[1, 2]．

斜陽産業と言われて久しい繊維産業においては，成熟した社会における国内市場の縮小を考えると，今後の産業の継続的な発展のため，国際競争力のある高機能繊維や繊維製品の開発技術力が担う役割は大きい[3, 4]．新しい機能製品が出現するとき，そこにはその性能を評価する新しい評価方法を確立する必要性が生まれる．現在，繊維製品の高機能性を評価する試験方法について，国際標準化の動きが進行している[5-7]．それら繊維素材の物理特性評価だけでなく，実際に着衣したときの人に与える影響を評価する着心地評価も実用性能を考える上で重要である．

## 1.2. 着心地評価

着心地を左右する要因には，圧力特性（被服圧），温熱特性（衣服内気候），接触特性（肌触り）など様々な要因がある．着心地は，被服から人体に提示される様々な刺激を，多様な感覚器官によって受容し，その情報が脳で統合処理されることによって発現する知覚である．着心地の評価には，着衣時における人の心理生理反応，人体に提示される刺激値としての被服が持つ物理特性の調査が重要となる．着心地評価についてこれまで温熱生理学的な評価[8-15]，接触快適性評価[16-25]，被服圧や動作拘束性に関する評価[26-33]等様々な研究報告がされている．

### 1.3. 被服圧に関する着心地評価

着心地の要因の一つである被服圧は、被服を身に着けた際に発生する人体を圧迫する力であり、被服のずり下がりやずり上がりを防ぐフープテンションによるもの[34-36]、肩や腰にかかる被服の重量によるもの[37, 38]、動作時の皮膚の伸縮に伴う被服の変形応力によるもの[39-41]など様々な状況で発生する。過度な被服圧は、血流障害や消化器の機能低下など健康障害を引き起こす原因にもなり[42-48]、低減することで快適性を目指す衣服設計がこれまで主流であった。しかし近年では、積極的に適度な着圧を取り入れることで、むくみやリンパ浮腫の予防[49-51]、姿勢補整[52-54]、運動機能のサポート[55-60]に役立てる機能性衣料の一種として着圧をデザインした靴下、スパッツ、ストッキング、ニットシャツ、下着等のコンプレッションウェアが開発され市場に登場している[61, 62]。被服圧の快適性評価において、圧迫感の低減を目指す一方向だけではなく、適度な被服圧を積極的に取り入れることでパフォーマンスを向上させる別の方向での快適性も加わってきている。本研究では、被服圧に焦点をあてる。

これまで被服圧が人体に与える影響として、血流変化、皮膚温変化、心拍変動、自律神経活動の変化、脳活動、内臓の変位変形、消化器系の変化、運動機能における筋組織への作用など様々な報告がされている。以下にこれまでの主な先行研究を記す。

血流変化に関する内容として、諸岡ら[42]は肩と鼠頸部に高い局所圧をもつ水着の着用による足先皮膚血流の減少を報告している。川ら[43]と中橋ら[44]も下肢圧迫による皮膚血流量の減少を報告している。皮膚温変化に関する内容として、三野ら[63]はベルトを用いたウエスト部への丁度よいと知覚される圧強度が手背皮膚温の低下に作用したことを報告している。川端ら[64]も上腕圧迫時の皮膚温の低下および血流量の減少を報告している。心拍変動に関する内容として、横井ら[65]はガードル着用が心拍数の増加に作用したことを報告している。自律神経活動の変化に関する内容として、石丸ら[66]は幅 10cm の伊達締めによる

3kPa の加圧が、前腕、腰部、腹部においては副交感神経活動の亢進に作用し、下腿、大腿、上腕、胸部においては副交感神経活動の抑制に作用したことを報告している。脳活動に関する内容として、杉田ら[67]はガードル着用による脳波  $\alpha$  波出現率の減少、 $\beta$  波出現率の増加を報告している。また、岡田[68]は体性感覚誘発電位を指標とし、呼息相の方が吸息相より腹部圧迫の脳活動への影響が強いことを報告している。内臓の変位変形に関する内容として、渡辺ら[69]は体幹部への圧迫による胃、横隔膜、心臓、胸郭の変位変形を報告している。消化器系の変化に関する内容として、三野ら[70]と Okura ら[45]は加圧による唾液分泌量の減少を報告している。Sone ら[47]はガードル着用による呼気水素濃度の上昇を報告している。Takasu ら[46]と Lee ら[48]は下着による圧迫が排便量の減少に作用したことを報告している。運動機能における筋組織への影響として、Scanlan ら[58]は耐久サイクリング中に着圧レギンスを着用した場合、着用しない場合よりも筋組織酸素が高かったことを報告している。Jakeman ら[59]は下肢圧迫帯による運動誘発性筋損傷からの回復の効果を報告している。

これらの報告から、被服圧は人体に様々な影響を与えており着心地を左右する重要な要素であることがわかる。また、これらの先行研究は被服圧を単一感覚（圧覚）から入力した際の人体に与える影響を調査したものであり、複数の感覚を統合した研究内容は見当たらない。

#### 1.4. 多感覚統合の観点からの着心地評価

着心地は、被服と人が関わることではじめて発現する感覚である。私たちは日常において、視覚、触覚、聴覚など複数の感覚から入った情報を脳で統合処理しながら生活している。この多感覚統合について、これまで様々な研究が報告されている[71-77]。例えば、[ga]を発音する唇の動きを見ながら[ba]の発音を同期させると[da]と発音しているように聞こえるという McGurk 効果[78]もその一つである。さまざまな感覚器官からの情報を統合することで単一器官からとは異なる新しい知覚が発生すると考えられる。着心地は、単一感覚ではな



く圧力特性（被服圧）、温熱特性（衣服内気候）、接触特性（肌触り）などの要因すべての刺激に対する多感覚統合によって知覚される（図 1-1）。これは、被服から与えられる多くの情報が着心地に対する知覚を形成するために、感覚応答の複数のチャンネルを介して脳に伝達される複雑なプロセスを伴っていることを示唆している。着心地評価は複数の感覚統合によって評価される高次な認知処理といえる。

着心地評価は、従来単一感覚からの刺激に対する心身反応から評価されることが主であった。なぜなら、1 入力 1 出力のシステムとして着心地評価を考えた方が分かりやすいからである。これまで被服の着心地評価の分野における多感覚統合に関連した研究内容として、西松ら[79, 80]はカラーパイル織物の風合い評価について、視・触覚による評価では視覚の触覚に対する優位性があり、視覚情報である織物の表面色の影響を受けると報告している。小林ら[81]も風合い評価における触覚と視覚の関係について視・触覚併用の評価は視覚の影響を強く受けると報告している。また、田中ら[82]は布に対するしっとり感について、布表面の色が評価に影響を及ぼしていることから視・触覚の統合評価で判断していること、表面の毛羽の方向が変化し易い布の場合には視覚よりも触覚が評価に影響を及ぼしていることを報告している。

これらの先行研究は布の風合いに関するものであり、被服圧に焦点を当てた研究報告はほとんどない。被服圧は圧覚だけでなく、ベルトやボディファンデーションに代表されるように視覚的にも知覚できる着心地の要素であり、被服圧に関する多感覚統合の観点から着心地評価を行うことは重要であると考えられる。

Clothing comfort is the feeling  
generated by the relationship  
between a person and clothes.

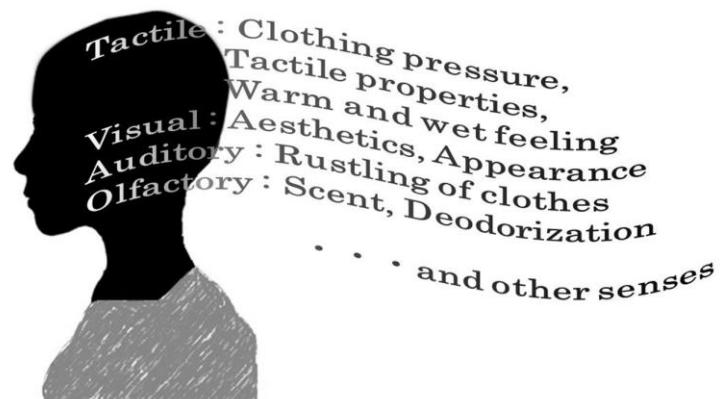


図 1-1 多感覚統合による着心地の発現

## 1.5. 心理反応および生理反応からの総合的な着心地評価

着心地を評価する方法の一つに官能検査による評価がある。評価対象となる被服を身に着けた被験者の感覚による評価のため、特別な装置や機器を準備する必要がなく、簡便に心理反応を調査できる利点がある。その反面、被験者による主観的な評価であるため、質問や表現する言葉の解釈に対する個人差、検査時の環境、季節や昼夜などの時間、被験者の気分、経験などにも左右されやすい。これに対して、客観的評価指標として脳波や心電図などによる生体計測から着心地を評価する取り組みがある。官能検査による意識下での主観的評価と、生体計測による無意識下での客観的評価を合わせることで総合的な着心地評価ができると考えられる。心理反応、生理反応、被服から人体に提示される刺激から得られる複数の評価尺度を組み合わせることで、着心地を精緻に評価できると考える。

## 1.6. 中枢神経系および末梢神経系への被服圧の影響

これまでの被服圧に関する生理計測の多くは、末梢神経系に分類される自律神経系からの評価が主である。被服圧が中枢神経系および自律神経系に与える影響を併せて調査した研究は十分であるとは言い難い。

自律神経系は内臓と中枢を連絡し、平滑筋や心筋、腺などを支配して不随意運動を行うことで生命維持の基本的な働きを担い、中枢神経系は末梢神経系から伝えられる受容器からの情報を統合し、記憶や思考などの高次神経機能を担うと言われている[83, 84]。

本研究では、中枢神経系からの評価として脳波、自律神経系からの評価として心電図を中心とした生理計測を行うことで、被服圧が人に与える影響を多角的に評価する。また被服圧の評価において、近赤外分光法（NIRS: Near-infrared spectroscopy）による脳血流動態の計測を多チャンネルで広範囲にわたり脳活動を計測した事例はなく、本研究では NIRS による脳活動の調査も行う。

## 1.7. 研究目的

本研究は、着衣快適性評価手法を構築するための基礎研究として、感覚統合の観点からの着心地評価の必要性について検証することが目的である。着心地の要素の一つである被服圧に焦点をあて、圧覚からと視覚からの被服圧情報を組み合わせることで、それぞれ単一感覚からの刺激と複数感覚からの刺激に対する心身反応の違いを調査した（図 1-2）。

また、本研究では被験者に提示する被服圧として、ウエストベルトを締めることによる腹部への被服圧を採用した。これは、実験設定として被験者の体型に合わせた調節が容易であること、下着、パンツ、スカート、ベルト等によるウエストに被服圧がかかる状態は老若男女問わず珍しくはないこと、被服圧が人体に掛かりきつい様子が視覚的に知覚できること、またパワーアシストスーツのようなウエストで固定させるアイテムも含め研究成果の今後の活用の汎用性を考慮し採用した。

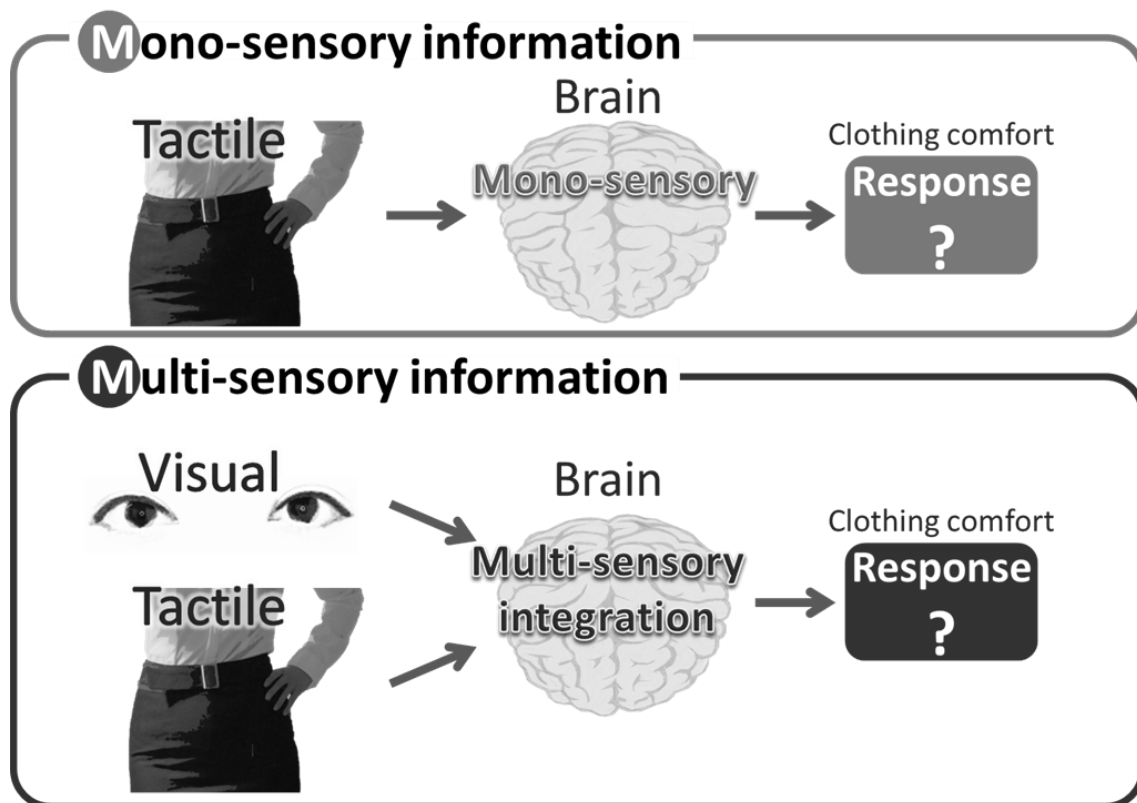


図 1-2 多感覚統合の観点からの着心地評価

## 1.8. 論文構成

本論文は全 6 章で構成されている（図 1-3）。以下に各章の概要を記す。

第 1 章では、被服圧に関する着心地評価の研究動向を示し、本論文における研究の背景と目的を述べた。

第 2 章では、視覚情報を遮断した閉眼状態と、日常生活を想定した開眼状態の二つの視覚条件における、腹部圧迫に対する心理生理反応の違いを検証した。実験は、予備実験と検証実験を含め三つの実験を行った。（1）予備実験では、開眼状態での瞬目による脳波へのアーチファクトの影響を調査し、アーチファクトに対する対策を検討した。（2）腹部圧迫実験では、閉眼状態と開眼状態におけるウエストベルトによる腹部圧迫時の心身状態を脳波、心電図、官能検査の計測によって評価した。（3）検証実験では、腹部圧迫実験の結果の原因を考察するために血圧測定を主とした生理計測を実施した。

第 3 章では、第 2 章の結果を受けて、多感覚統合を見据えた今後の着心地評価における実験環境設定への知見を得ることを目的とし、輝度を変化させた視覚刺激と被服圧による圧覚刺激を組み合わせ提示した場合の生理反応を計測する二つの実験を行った。実験Ⅰでは、明所暗所のように視覚刺激の強弱は生理反応に対して影響を与えることが推測されることから、ある明るさに順応している被験者に対して圧覚刺激を提示した際の生理反応の違いを検証した。実験Ⅱでは、圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激の二種類の刺激が提示された場合に多感覚統合によって生理反応に相乗的な影響を与えることが推測されることから、圧覚刺激に対する生理反応、視覚刺激に対する生理反応、圧覚刺激と視覚刺激の両方に対する生理反応という 3 パターンに分けて、単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの生理反応の違いを検証した。

第 4 章では、被服圧に関する情報を視覚と圧覚から提示した場合の心身反応を計測した。第 3 章での視覚刺激が輝度の変化という明暗以外の意味情報を持たないシンプルな視覚刺激であったのに対し、第 4 章では被服圧下にある被験者が鏡で自身を見ている状態、被験者は非圧迫状態で被服圧下にある他者を見

ている状態という，より積極的に被服圧に関する情報を視覚から入力し，単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの心理生理反応の違いを調査した．

第 5 章では，腹部への被服圧に対する着心地評価における脳活動の計測に適した部位を大局的に把握することを目的とし，被服圧が中枢神経系に与える影響およびその脳活動部位を，NIRS による脳血流動態の計測を多チャンネルで広範囲にわたり行い，その局在性について調査した．

第 6 章では，第 2 章から第 5 章までの成果をまとめ，結論および今後の展望について述べた．

なお，本研究は信州大学ヒトを対象とした研究に関する倫理委員会に承認された上で実施された．

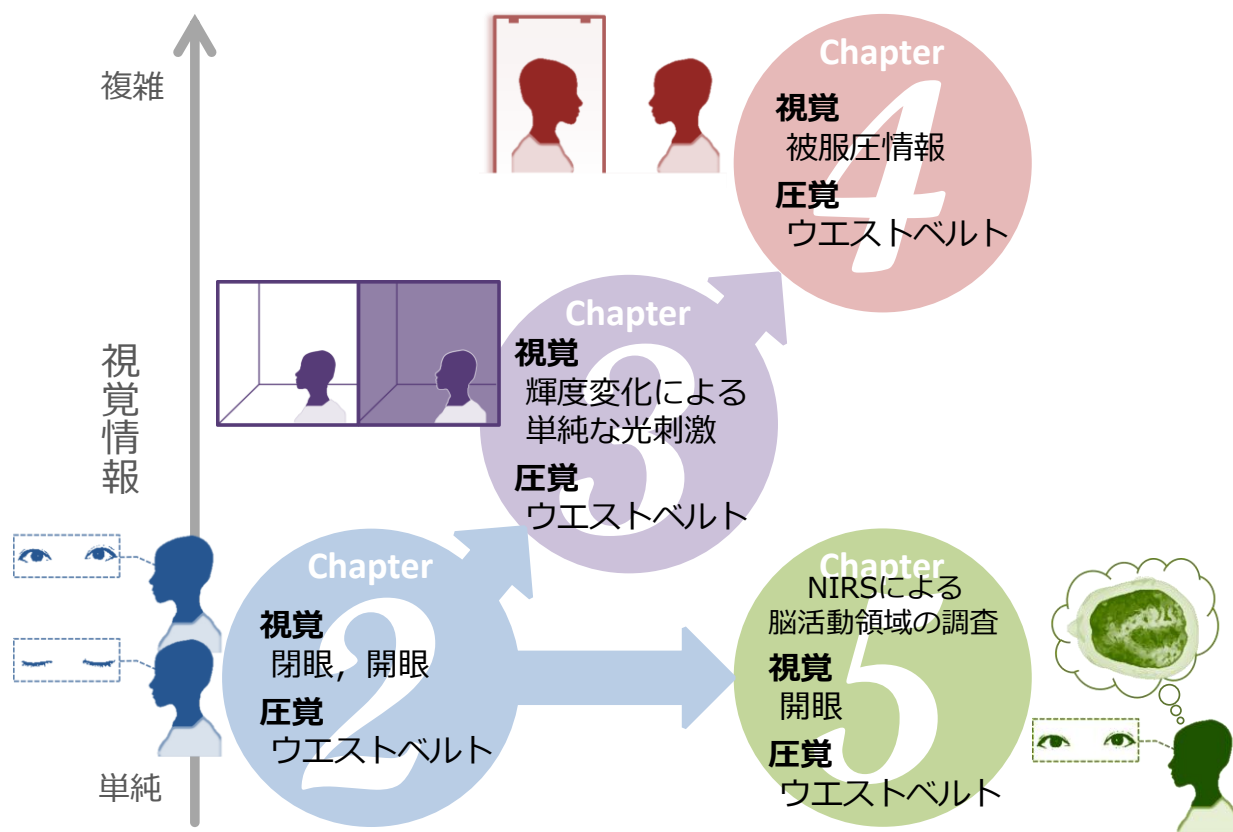


図 1-3 本論文の構成



## 第 2 章

腹部への被服圧が心身に与える影響と  
その閉眼・開眼における比較

## 2.1. はじめに

多感覚統合を考慮した着心地評価の必要性を検討するための第一段階として、目を閉じることで視覚からの情報を遮断した状態と日常生活を想定した目を開けた状態のそれぞれにおける、被服圧に対する心理生理反応の違いの有無を検証することが本章の目的である。

これまで中枢神経系と自律神経系からの被服圧評価の先行研究として、杉田ら[67]によるガードルの快適性について生理反応を脳波、心拍数、皮膚温を閉眼状態で計測した報告がある。閉眼状態だけではなく開眼状態も含めた被服圧評価の先行研究として、Horiba ら[85]による脳波（中枢神経系）の計測から腹部への被服圧が身体に与える影響を調査した報告がある。これらを包括するような閉眼状態と開眼状態における被服圧評価を中枢神経系の指標および自律神経系の指標から生理反応を調査した報告は見当たらない。本実験では、脳波（中枢神経系）、心電図（自律神経系）、官能評価の計測から閉眼状態と開眼状態におけるウエストベルトによる被服圧が心身に与える影響を調査した。

ストレス評価においてホメオスタシスの観点から考えると定常時からの神経系の変動がストレス状態であることを示す可能性がある。自律神経活動において、身体にストレスがかかっている場合には交感神経活動優位になることが知られているが、石丸ら[66]の研究において腹部への圧迫負荷が副交感神経活動を亢進させたことを報告している。本実験ではこのホメオスタシスの観点から腹部への圧迫刺激が心身に与える影響を検討する。

本章では、以下の三つの実験を実施し、その結果について述べる。

### 【予備実験：開眼状態における脳波計測のアーチファクト対策】

脳波計測では、瞬きや眼球運動がアーチファクトになることから閉眼で計測されることが一般的な計測方法であるが、本研究のように視覚的に着心地に関する情報を入手して評価する研究においては、脳波計測においても、開眼で計測する必要がある。そこで予備実験として、開眼状態における脳波計測時の瞬

目によるアーチファクトの影響を調査し、アーチファクトに対する対策を検討した。

#### 【腹部圧迫実験】

閉眼状態と開眼状態のそれぞれにおいて、ウエストベルトによる腹部圧迫時の心身状態を脳波、心電図、官能検査の計測により評価した。

#### 【検証実験：血圧測定による自律神経活動の検証】

腹部圧迫実験で得られた自律神経活動の結果の原因を考察するために、血圧測定を主とした生理計測による検証実験を実施した。

## 2.2. 予備実験：開眼状態における脳波計測のアーチファクト対策

### 2.2.1 目的

開眼状態における脳波計測で問題になるのは瞬目によるアーチファクトの混入である。脳波計測の際には閉眼状態とするのが通常であるが、日常生活を想定すると開眼状態における脳波計測が望ましい。しかし、脳波の電位変動は微弱であるため、アーチファクトが混入しやすい。被験者に起因するアーチファクトの主因として瞬目による表情筋や眼輪筋の筋電位や眼電位の脳波への混入が挙げられる（図 2-1）。そのため開眼状態における脳波計測にあたり、アーチファクトとなる瞬目が脳波の解析にどのような影響を与えるかを調べた。

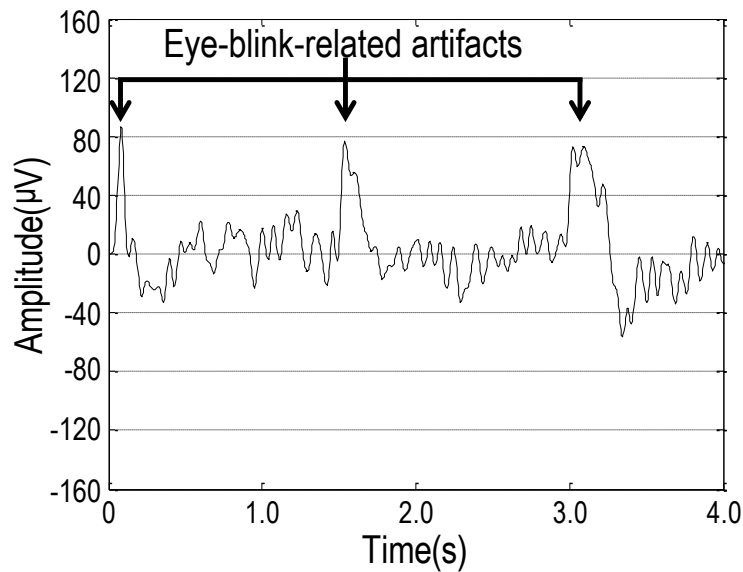


図 2-1 瞬目による筋電位を含む脳波

### 2.2.2 方法

被験者は健常な 20 代男女各 1 名ずつ計 2 名とし，基本着衣を下着，Tシャツ，ハーフパンツとした．実験室の温湿度条件は，基本着衣状態で快適と感じる 25℃，60%R.H.とした．実験は，開眼着座安静状態の脳波計測を 120 秒間行った．また，姿勢を保持するためにリクライニングシートを用いて，体動や頭部を支持する際の筋電位の混入が低減されるように配慮した．脳波は，国際標準 10-20 電極配置法の  $C_3$ ， $C_4$ ， $P_3$ ， $P_4$ （大脳一次体性感覚野周辺）に Ag/AgCl 皿型電極を貼付し，耳朶をアースとした単極導出法で導出した．その際のサンプリング周波数は 200Hz とし，計測の制御およびデータの取り込みはノート型コンピュータを用い，データ採取ツール Acqknowledge（BIOPAC SYSTEMS 社製）で行った．

実験で得られた脳波をトレンド除去した後，ノイズの混入などを考慮して，全 120 秒間のデータの前後 20 秒間ずつ除き，中央 80 秒間のデータを解析データとした．このデータを次の三つの方法で解析した．

a) 瞬目アーチファクトを含む脳波波形の解析

80 秒間の脳波データを 1 秒ずつ 80 個のデータに分割し, 1 データ当たり 200 点のデータに対してハミング関数で高速フーリエ変換 (FFT) を行うことによりパワースペクトルを求めた. 得られた 80 個のパワースペクトルを加算平均した.

b) 瞬目アーチファクトを含まない脳波波形の解析

80 秒間の脳波データのうち, 瞬目を含まない部分の脳波データから任意に 1 秒単位で 80 個切り出し, それらのデータに対してハミング関数で FFT を行うことによりパワースペクトルを求めた. 得られた 80 個のパワースペクトルを加算平均した.

c) 瞬目アーチファクト部の脳波波形の解析

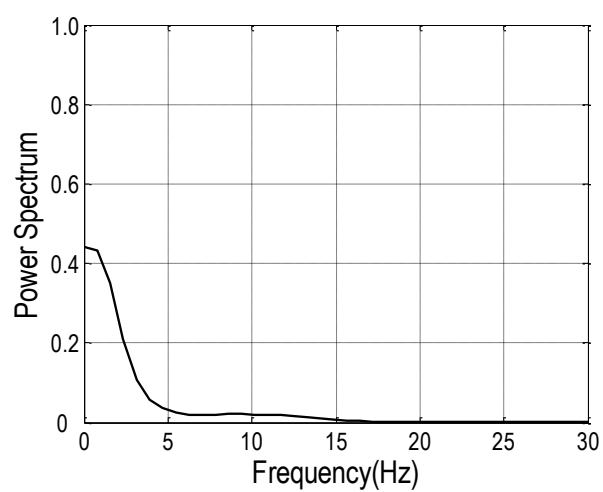
80 秒間の脳波データに含まれる瞬目時の脳波データを切り出し, それらのデータに対してハミング関数で FFT を行うことによりパワースペクトルを求めた. 得られたパワースペクトルを加算平均した.

## 2.2.3 結果

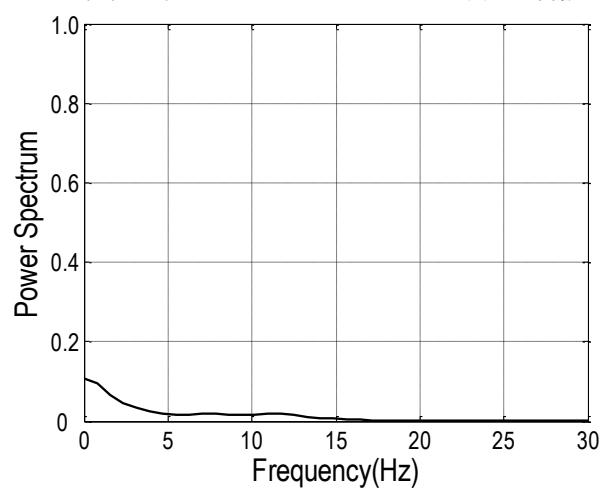
瞬目アーチファクトを含む脳波, 瞬目アーチファクトを含まない脳波, 瞬目アーチファクト部のみの脳波それぞれを周波数解析した結果 (被験者 A) を図 2-2 に示す. 瞬目アーチファクトを含む解析結果 (a) と瞬目アーチファクトを含まない解析結果 (b) を比較すると, (a) の方が低周波数帯域のパワースペクトルが高値である. 瞬目アーチファクト部のみの解析結果 (c) から瞬目の周波数はおよそ 1.5Hz にピークを持つ低周波帯域に出現していることから, 瞬目アーチファクトの影響が 0~4Hz 付近の帯域に出ていることがわかる. このことから瞬目アーチファクトを含むデータを解析する場合,  $\delta$  波帯域 (表 2-1 参照) に影響を及ぼすと考えられる.

図 2-3(a)は、瞬目アーチファクトを含む脳波のパワースペクトル（図 2-2(a)）と瞬目アーチファクトを除いた脳波のパワースペクトル（図 2-2(b)）から  $\delta$ ， $\theta$ ， $\alpha$ ， $\beta$  波帯域の積分値を算出したものである． $\delta$  波については瞬目アーチファクトを含む場合の方が，瞬目アーチファクトを含まない場合よりも高くなっている．これは瞬目アーチファクトの周波数が 0～4Hz に存在し，その影響で  $\delta$  波パワーが上昇したためである． $\theta$ ， $\alpha$ ， $\beta$  波については，瞬目の有無に関係なくほぼ同じ比率であることがわかる．なお，被験者 B についても図 2-3(b)に示す通り同様の傾向であった．

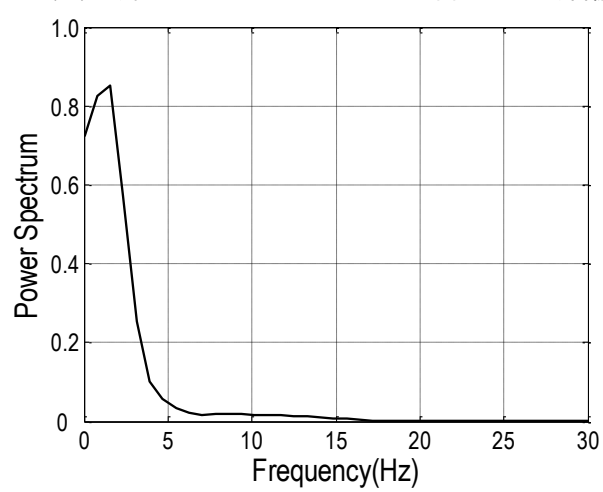
以上のことから瞬目アーチファクトを含む脳波を周波数解析する場合，①  $\delta$  波は瞬目の影響を強く受けるので結果や考察に用いるのは不適當である．②瞬目による筋電位が脳波に影響するため， $\theta$ ， $\alpha$ ， $\beta$  波の絶対値を用いることはできないが，相対的な変動を観察することで身体の反応を把握することが可能であると考えられる．よって，次項の腹部圧迫実験では，脳波において  $\theta$ ， $\alpha$ ， $\beta$  波の相対変化から結果を考察する．



(a) 瞬目アーチファクトを含む脳波

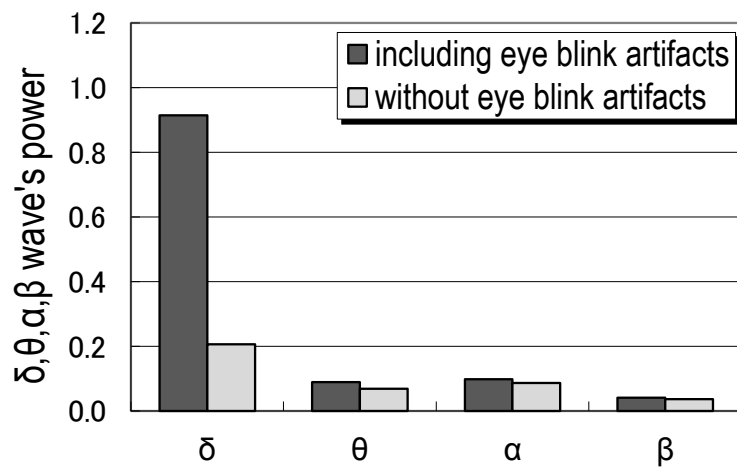


(b) 瞬目アーチファクトを含まない脳波

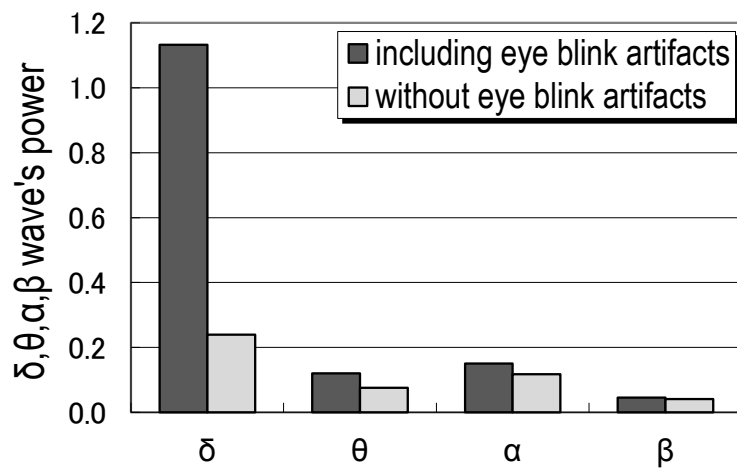


(c) 瞬目アーチファクト部のみの脳波

図 2-2 脳波のパワースペクトル (被験者 A)



(a) 被験者 A



(b) 被験者 B

図 2-3 脳波の各波形のパワー

表 2-1 脳波における各波形の周波数帯域 ([86, 87]より作成)

	$\delta$ wave	$\theta$ wave	$\alpha$ wave	$\beta$ wave
Frequency (Hz)	$(0.5 \leq f < 4)$	$(4 \leq f < 8)$	$(8 \leq f \leq 13)$	$(13 < f \leq 30)$



## 2.3. 腹部圧迫実験

### 2.3.1 目的

閉眼状態と開眼状態の二つの視覚条件の違いにおいて、腹部への被服圧による心理生理反応にどのような違いがあるかを調査することを目的とする。

### 2.3.2 方法

実験の条件として設定した被服圧は、日常生活における圧迫を想定し、図 2-4 に示す幅 4cm の非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した（図 2-5）。被服圧に対する着心地という観点においてまずは限界点として被験者全員がきついと自覚する圧迫条件として Horiba ら[85]の実験を参考に、被験者の胴囲に対してベルト長を 10%短くする条件を採用した。（圧迫率と被服圧の関係は付録参照。）

計測項目は脳波、心電図、官能検査の 3 項目とし、被験者は健常な成人 9 名(男性 5 名[年齢  $22 \pm 1$  歳, 胴囲  $77.5 \pm 11.3$ cm, BMI  $21.7 \pm 5.1$ ], 女性 4 名[年齢  $22 \pm 1$  歳, 胴囲  $72.6 \pm 7.5$ cm, BMI  $21.4 \pm 2.7$ ])であった。被験者には実験開始 2 時間前から飲食喫煙を禁じた。被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした。実験室の温湿度条件は、基本着衣状態で快適と感じる  $25^{\circ}\text{C}$ , 60%R.H.とした。被験者はリクライニングシートに着座し、電極貼付後 15 分間の安静時間を取り、脳波波形および心拍数の安定を確認した後に計測を開始した。実験は図 2-6 に示すように安静 2 分間、圧迫 2 分間、再安静 2 分間の計 6 分間を 1 セットとして行った。これを被験者ごとに閉眼状態、開眼状態の 2 セット行った。閉眼状態は計測中の 6 分間、目を閉じている状態とし、開眼状態は計測中の 6 分間、目を開けて実験室壁面を正視している状態とした。二つの視覚条件による順序効果を相殺するため、視覚条件の順番は被験者ごとランダムとし、条件間の休憩は 5 分間とした。実験中の呼吸は、胸式呼吸とし一定のリズムを心がけるよう被験者に指示し、ため息等の呼吸の変化を禁じた。



図 2-4 ウエストベルト



図 2-5 腹部圧迫の様子

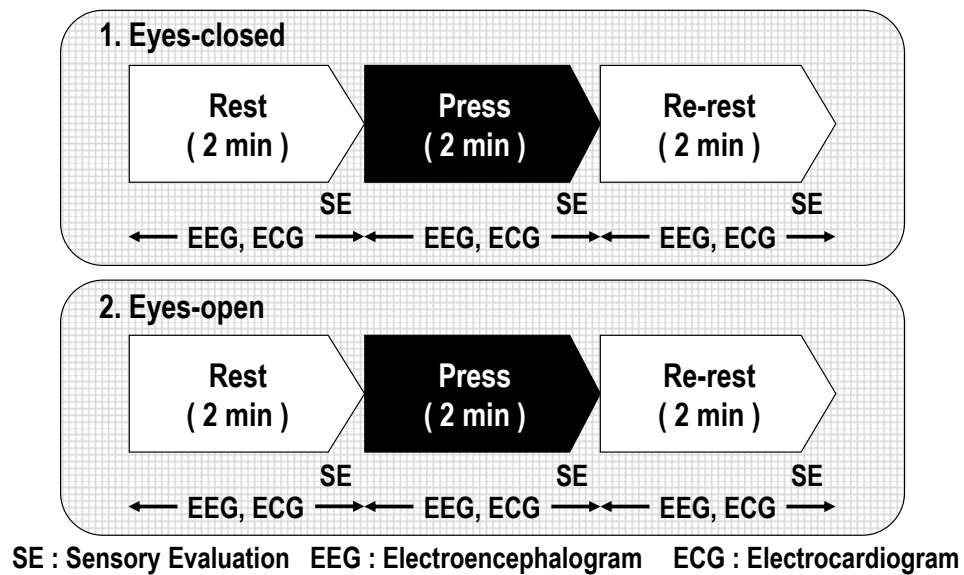


図 2-6 実験プロトコル

脳波は、国際標準 10-20 電極配置法による  $C_3, C_4, P_3, P_4$  の 4 箇所 に Ag/AgCl 皿型電極を貼付し、耳朶をアースとした単極導出法で導出した。心電図は、サンプリング周波数 200Hz で四肢誘導によって導出された。官能検査は、快適感（快適－不快）、圧迫感（圧迫感がある－圧迫感がない）、覚醒感（眠くない－眠い）について、「非常に・とても・やや・どちらともいえない」の 7 段階評定（+3 － -3）で実施した。覚醒感の項目は、脳波計測において覚醒が下がり眠くなると  $\alpha$  波は  $\theta$  波に置き換わることから[88]、脳活動の覚醒状態について補足するために設定した。

脳波解析は、得られた脳波データからトレンドを除去し、ノイズの混入などを考慮し計測開始直後と終了直前の各 12 秒間のデータを除いた後、FFT を行うことによりパワースペクトルを求めた。パワースペクトルは 8 秒間を 1 単位とした脳波をハミング関数で FFT を行い、得られたパワースペクトルを加算平均した。加算平均の回数は 12 回とした。予備実験の結果から  $\delta$  波は瞬目の影響を受けることが確認されたため、 $\delta$  波を除く  $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波を算出した。脳波は個人差が大きく被験者間で計測値をそのまま比較することは難しいため、まず  $\theta, \alpha, \beta$  帯域に占める各波の割合を求め、その値の安静時を 1 とした相対値を求めることで以下のように規格化した。

$$\theta_{r1} = (\text{各状態の } \theta_1) / (\text{安静時の } \theta_1) \quad \theta_1 = \theta / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\alpha_{r1} = (\text{各状態の } \alpha_1) / (\text{安静時の } \alpha_1) \quad \alpha_1 = \alpha / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\beta_{r1} = (\text{各状態の } \beta_1) / (\text{安静時の } \beta_1) \quad \beta_1 = \beta / (\theta + \alpha + \beta)$$

心電図解析は、自律神経活動を推定するためにスペクトル解析を行った[89-100]。得られた心電図データに対しトレンドを除去し、5～40Hz のバンドパスフィルタをかけた。ノイズの混入などを考慮し計測開始直後と終了直前の各 5 秒間のデータを除いた後、R 波のピーク検出を行い、R-R 間隔を求めた。その R-R 間隔データからスプライン補間によって心拍変動の時系列変化を求め、この心拍変動関数に対して FFT を行い、パワースペクトルを求めた。さらに、交感神経と副交感神経の両方の活動が反映される 0.04～0.15Hz の低周波成分

(LF: Low Frequency) と、副交感神経の活動が反映される 0.15~0.4Hz の高周波成分 (HF: High Frequency) から算出される交感神経活動割合 (LF/HF) と副交感神経活動割合 ( $HF/(LF+HF)$ ) を求めた (図 2-7)。

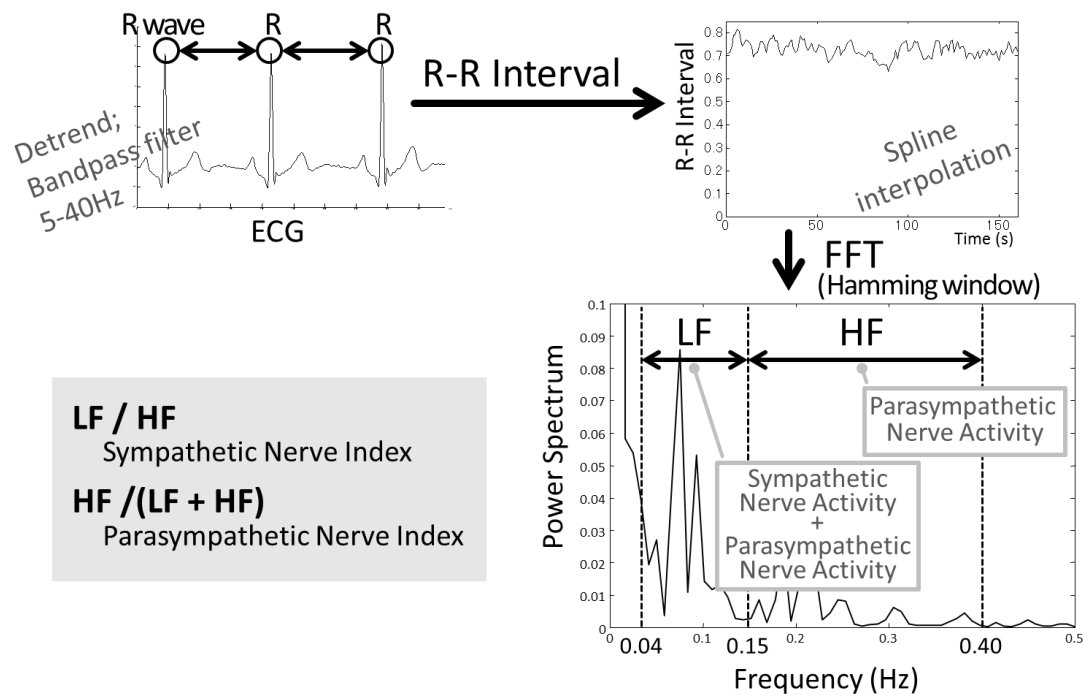


図 2-7 心電図の解析

### 2.3.3 結果

図 2-8 に脳波の解析結果を示す．縦軸の値は安静時を 1 とした相対変化を示している．なお，以降本論文で示すグラフ中のエラーバーは標準偏差を表す．  
 圧迫時において，閉眼状態では  $\alpha$  波は減少し， $\theta$  波と  $\beta$  波は増加した．一方，開眼状態では閉眼状態ほど大きな変化は見られず， $\beta$  波の減少が認められた．  
 統計解析ソフト (Excel 統計 2010, 社会情報サービス社製) を用いて Bonferroni 法による多重比較を行った結果，閉眼状態と開眼状態では，圧迫時の  $\alpha$  波， $\beta$  波，再安静時の  $\beta$  波に有意差が認められた．また閉眼状態での  $\theta$  波は，安静＜圧迫＜再安静と時間経過に伴って増加した．これは計測中の 6 分間，目を閉じていることによる覚醒の低下が原因と考えられる．

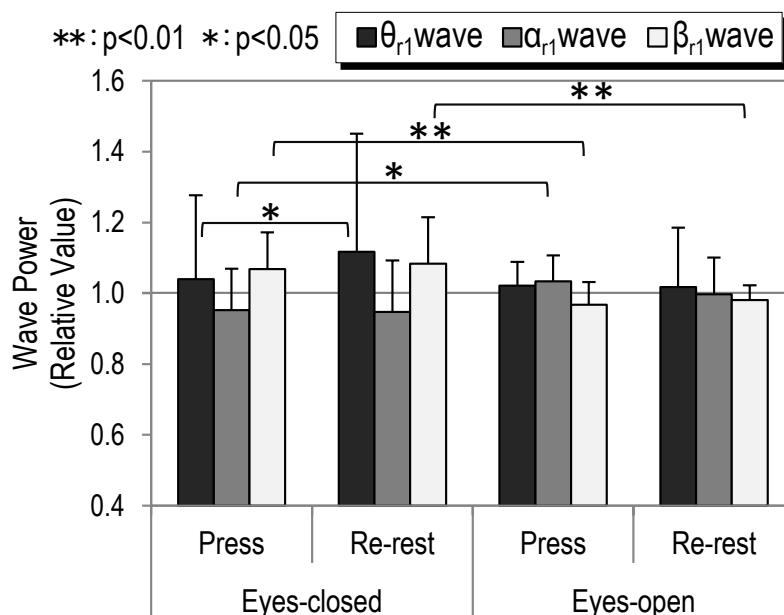
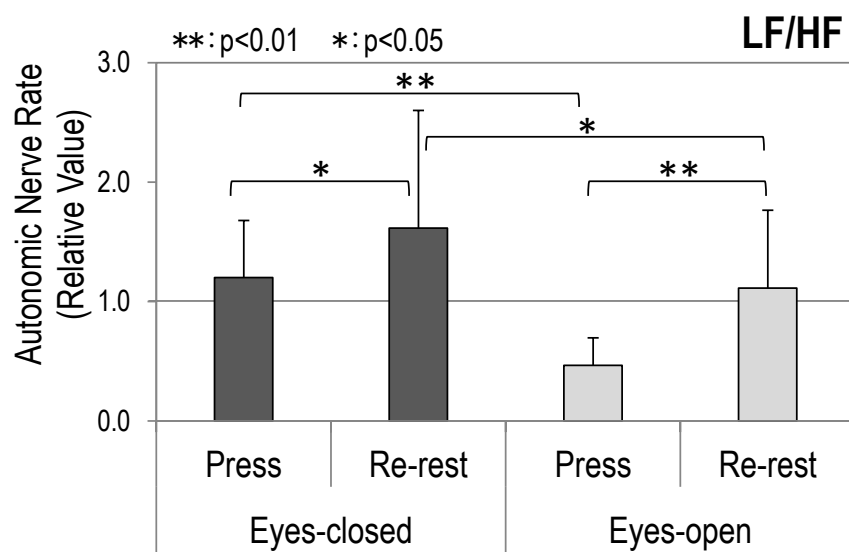


図 2-8 脳波の相対変化

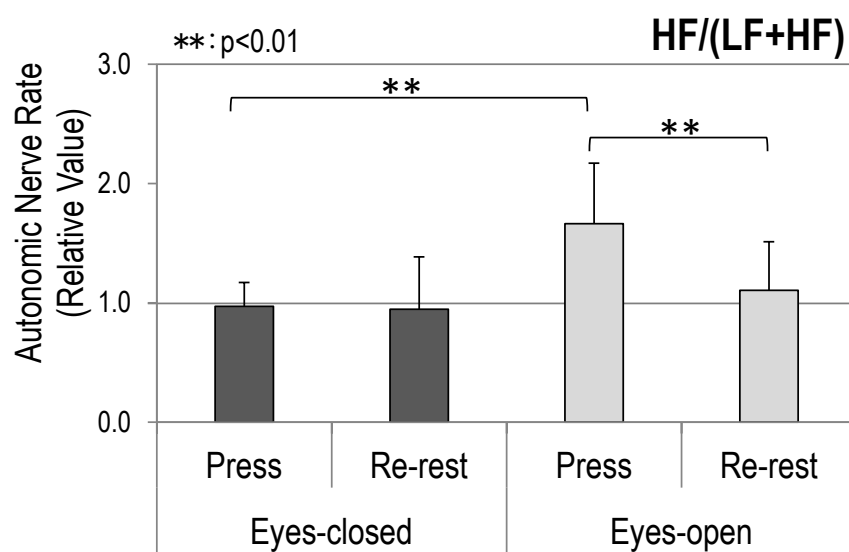
図 2-9 に  $LF/HF$ ,  $HF/(LF+HF)$  の変化を示す。グラフは、それぞれ安静時の値を 1 とした場合の相対変化を示している。 $LF/HF$  は、閉眼状態では圧迫時、再安静時ともに増加したのに対し、開眼状態では圧迫時に減少し再安静時には増加した。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、閉眼状態、開眼状態ともに圧迫の解放に伴う変化に有意差が認められた。 $HF/(LF+HF)$  は、閉眼状態では圧迫時、再安静時共にわずかに減少したのに対し、開眼状態では圧迫時に増加し、再安静時に有意に減少した。

閉眼状態と開眼状態を比較すると、 $LF/HF$  においては圧迫時と再安静時に、 $HF/(LF+HF)$  においては圧迫時の反応に有意差が認められた。これらのことから、閉眼での計測では腹部圧迫により、交感神経活動優位な状態になり、開眼での計測では副交感神経活動優位な状態になることが示された。また、開眼では交感神経活動、副交感神経活動ともに再安静時の値が圧迫前の安静時の値へと戻る回復傾向が見られた。このことから開眼での計測は閉眼での計測に比べて、腹部圧迫の刺激に対する応答性がよいことがわかる。

図 2-10 に快適感、圧迫感、覚醒感について調査した官能検査の結果を示す。Bonferroni 法による多重比較を行った結果、圧迫時の快適感と圧迫感について、閉眼-開眼間での有意な差は認められなかったが、覚醒感については閉眼状態と開眼状態において有意な差が認められ、開眼状態での評価の方が覚醒感が高いことがわかる。この結果は閉眼状態の脳波が徐波傾向であったこととも一致している。



(a) 交感神経活動割合 (LF/HF)



(b) 副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF))

図 2-9 自律神経活動の相対変化

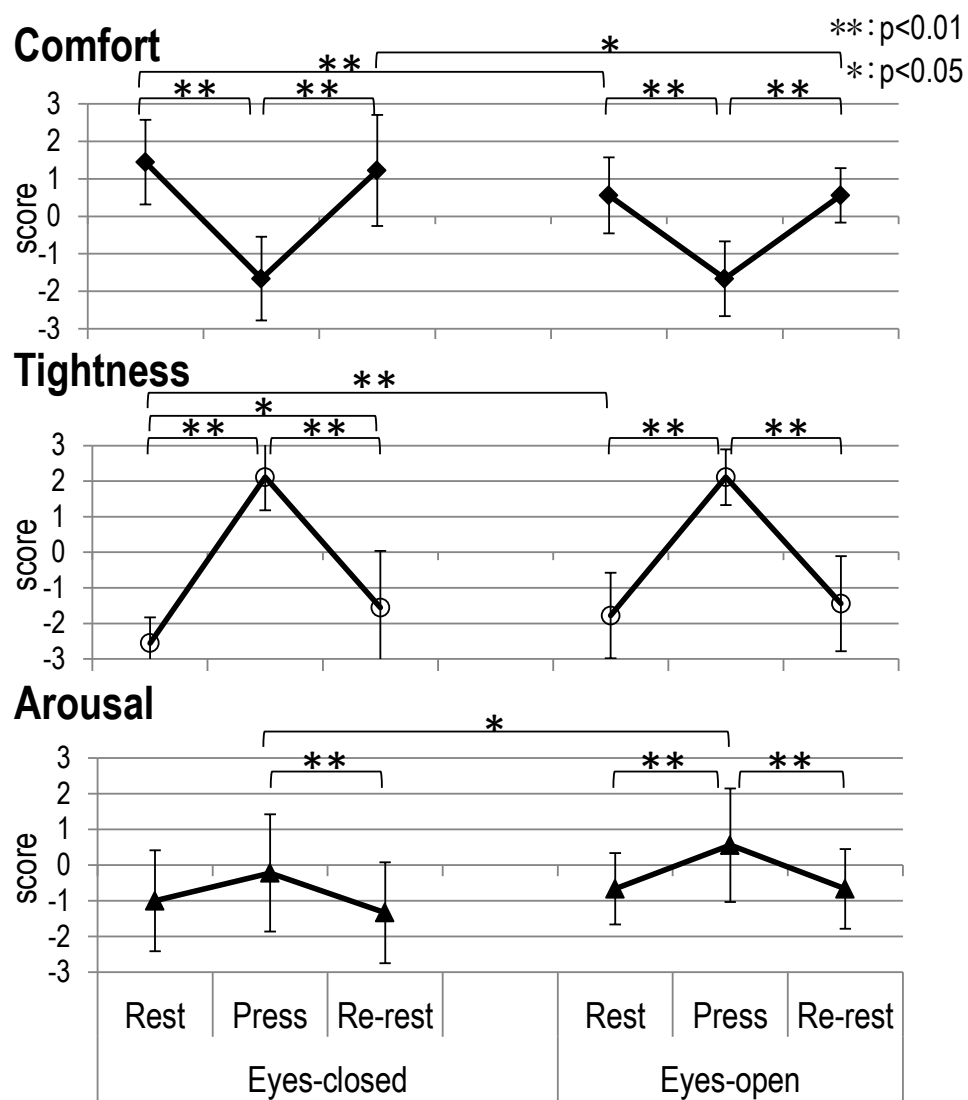


図 2-10 官能検査の結果



#### 2.3.4 考察

腹部圧迫に対する閉眼と開眼での官能検査による評価を比較すると、共通点は、快適感の低下、圧迫感、覚醒感の上昇が挙げられる。異なる点としては、開眼での評価では $\theta$ 波がほぼ増減なく、副交感神経活動が優位になったのに対し、閉眼での評価では $\theta$ 波が増加、交感神経活動が優位となったことが挙げられる。さらに覚醒感は安静、圧迫、再安静全ての状態で閉眼での評価の方が低い値になっていた。閉眼での評価における $\theta$ 波の増加、覚醒感の低下は計測中閉眼でいることで眠気が生じたためと考えられる。

閉眼状態での評価について、杉田ら[67]が行ったガードル着用の整容効果と生体への負荷に関する研究では、ガードルによる圧迫拘束が交感神経に作用し心拍数増加に至り、脳波では $\alpha$ 波の出現率が有意に低くなり $\beta$ 波は増加する傾向が認められたと報告している。この結果は、本実験の閉眼状態における結果といずれも一致する。この $\alpha$ 波の減少と $\beta$ 波の増加は、 $\alpha$ -blocking という現象によるものと推察される。 $\alpha$ -blocking は、閉眼状態からの開眼、閉眼時の暗算、心理的負荷等により $\alpha$ 波が抑制され、速波（ $\beta$ 波）が顕著になる現象である。

開眼状態での評価について、石丸ら[66]が幅 10cm の伊達締めを用いて身体を部分的に加圧した研究では、腹部を加圧すると副交感神経活動指標である HF が高まったと報告している。この結果は、本実験の開眼状態における結果と一致する。

これらのことから閉眼状態と開眼状態では腹部圧迫に対する中枢神経系および自律神経系の反応が異なることが示された。今後、着衣快適性評価を行う際には閉眼状態と開眼状態での生理反応は異なることを考慮し、それぞれの状態で評価を分けて考える必要性が示された。

## 2.4. 検証実験：血圧測定による自律神経活動の検証

### 2.4.1 目的

腹部圧迫実験の結果から、開眼状態において腹部圧迫による刺激が副交感神経活動優位な状態に作用したことが示された。身体にストレスがかかっている場合には交感神経活動優位になることが知られているが、腹部圧迫実験の開眼状態における圧迫ストレス評価では、官能検査で不快感、圧迫感を感じているにも関わらず、副交感神経活動が亢進した。

この結果を説明するため、体幹部への圧迫刺激が血圧を上昇させ、これを下げるために大動脈壁にある圧受容器が働き、副交感神経活動が優位になったという仮説を立てた。この仮説を検証するために腹部圧迫時の血圧を測定した。

### 2.4.2 方法

圧迫条件は、腹部圧迫実験と同様に行った。計測項目は心電図、血圧の2項目とし、被験者は健常な成人7名(男性4名[年齢  $33 \pm 11$  歳, 胴囲  $78.8 \pm 13.4$  cm, BMI  $22.6 \pm 5.0$ ], 女性3名[年齢  $24 \pm 5$  歳, 胴囲  $64.4 \pm 5.0$  cm, BMI  $19.8 \pm 1.9$ ])であった。被験者には実験開始2時間前から飲食喫煙を禁じた。被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした。実験室の温湿度条件は、基本着衣状態で快適と感じる  $25^{\circ}\text{C}$ 、60%R.H.とした。被験者はリクライニングシートに着座し、電極貼付後10分間の安静の後計測した。

実験は図2-11に示すように安静2分間、圧迫2分間、再安静2分間の計6分間計測した。この計測中6分間は開眼状態とした。実験中の呼吸は、胸式呼吸とし一定のリズムを心がけるよう被験者に指示し、ため息等の呼吸の変化を禁じた。

心電図は、ディスポーザブル電極を用いて胸部双極誘導法によって導出した。血圧は携帯型血圧連続測定装置(PORTAPRES, Finapres Medical Systems 製)を用いて左手第Ⅲ指にカフを装着して測定した。心電図のサンプリング周波数

は 200Hz とした。血圧データは、血圧連続測定装置からのアナログ出力信号を 200Hz でサンプリングした。

心電図解析は腹部圧迫実験と同様の方法で行った。血圧は、実験で得られたデータから安静、圧迫、再安静の各状態において、ノイズの混入などを考慮し、測定開始直後と終了直前の各 5 秒間のデータを除いたデータの平均値を算出した。

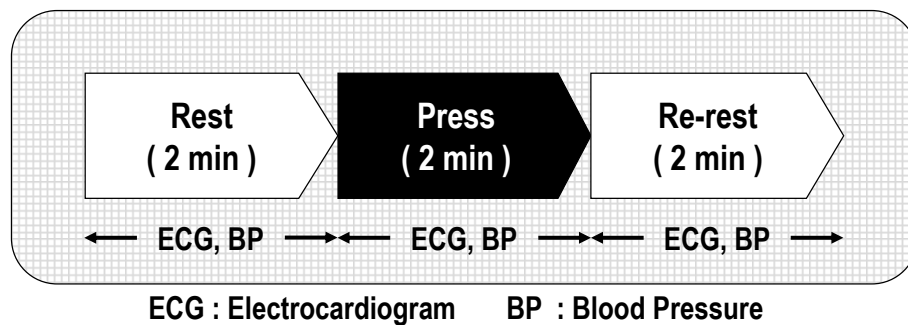


図 2-11 実験プロトコル

### 2.4.3 結果

図 2-12 に心電図データから算出した自律神経活動割合の変化を示す。LF/HF, HF/(LF+HF)はそれぞれ安静時の値を 1 としたときの相対変化で表している。LF/HF, HF/(LF+HF)ともに分散が大きいものの、圧迫時に HF/(LF+HF)の増加が見られた。また、被験者 7 名中 6 名で圧迫時に瞬時心拍数の減少が確認された。これらの結果から、腹部圧迫による刺激が副交感神経活動優位な状態に作用したと考えられる。

左手第Ⅲ指で測定した血圧の変化を図 2-13 に示す。縦軸の値は安静時からの差を示している。被験者 7 名中 5 名で圧迫時に血圧が上昇し、ウィルコクソンの符号順位和検定の結果から、再安静時には腹部の圧迫を解放することで有意に下降したことがわかった。このことから腹部圧迫による影響が血圧の上昇に作用している可能性が考えられる。

図 2-14 に腹部圧迫全 2 分間の血圧の経時変化を示す。波形は被験者全 7 名の

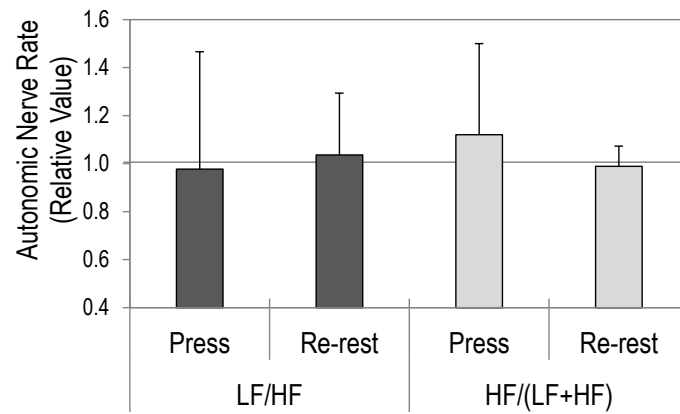


図 2-12 自律神経活動の相対変化

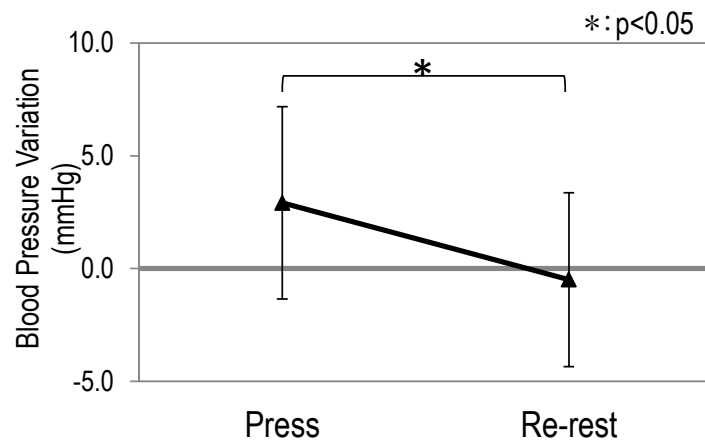


図 2-13 血圧の変化

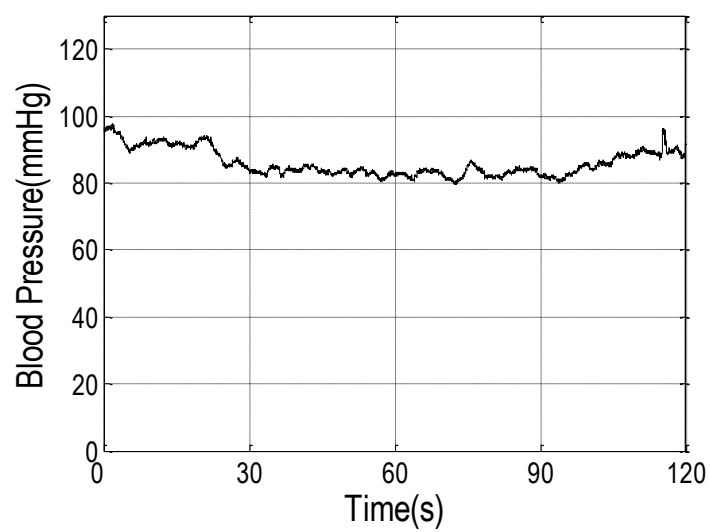


図 2-14 圧迫時の血圧の変化

平均値である。圧迫前に比べて圧迫直後に血圧が上昇し、20～30 秒後から低下しはじめ、90 秒後から再び上昇しはじめていることがわかる。

#### 2.4.4 考察

腹部圧迫による刺激が副交感神経活動優位な状態に作用した原因として、腹部への圧迫刺激によって血圧が上昇し、これを抑えるため副交感神経活動が優位になったという仮説を立て、検証実験を行った。その結果、被験者 7 名中 5 名で腹部圧迫時に血圧の増加が確認された。腹部圧迫時の経時的な血圧変化の結果を加味すると、以下のような生理メカニズムが作用したと考察した。

- ①腹部を圧迫することにより血圧が上昇した。
- ②この血圧変化を頸動脈洞・大動脈弓の血管壁にある動脈圧受容器が検出し、圧受容器反射が起き反射性循環調節が行われた。
- ③自律神経活動が副交感神経活動に亢進し、20～30 秒後に血圧が低下した。
- ④血圧が安定したことで徐々に副交感神経活動の亢進が解かれ血圧が徐々に上昇し始めた。

#### 2.5. まとめ

ウエストベルトによる腹部圧迫における閉眼状態での評価と開眼状態での評価について、閉眼状態での時間経過に伴う脳波の  $\theta$  波の増加および心理反応の覚醒感の結果から閉眼状態での評価は覚醒が低下しやすいことが示された。本実験では閉眼と開眼で圧迫に対する脳活動に違いがあることを明らかにしたが、この現象の原因については明確になっていない。これについては今後の脳科学の研究により明らかになると考える。自律神経活動については閉眼状態では腹部圧迫による刺激が交感神経活動に作用するのに対し、開眼状態では副交感神経に作用し、全く別の反応を示すことが明らかとなった。これらのことから着衣快適性評価手法を考える際には、閉眼状態と開眼状態の生理反応は異なるた

めそれぞれ分けて考えるべきであり、評価対象となる衣服の着用シーンを考慮した状態で評価する必要があることが示された。

また、開眼状態での評価において、腹部圧迫による刺激が副交感神経活動に作用した。これに対して血圧測定の結果から、副交感神経活動が優位になった原因は、腹部圧迫により血圧が上昇し、この変化を圧受容器により延髄にある心臓血管中枢に伝達され、副交感神経活動に亢進したと考えられる。

従来から交感神経活動割合  $LF/HF$  がストレス指標として用いられることが多くあったが、本実験では官能検査で不快感・圧迫感を感じるストレス下にあるにも関わらず、副交感神経活動割合  $HF/(LF+HF)$  が高くなった。ホメオスタシスの観点から、自律神経活動割合を用いたストレス評価の際には、交感神経活動の亢進がストレス状態であり副交感神経活動の亢進がリラックス状態であるという判断ではなく、定常時からの変動をストレスと捉える視点の重要性が示された。

本実験において、開眼状態でも脳波計測から着心地評価が可能であること、閉眼状態と開眼状態では脳活動や心拍変動から推定された自律神経活動が異なることなどが示された。着衣快適性は衣服と人間が関わって初めて発現・評価される性能であり、実環境を想定した視覚情報を伴った条件下での被服圧評価はこれからの着心地の評価研究において重要であることから、次章からは視覚と圧覚からの感覚情報を統合した場合の被服圧評価について述べる。

## 第 3 章

輝度変化による視覚刺激が  
腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響

### 3.1. はじめに

第2章では、ウエストベルトによる腹部圧迫を評価する際、閉眼状態と開眼状態では被服圧に対する生理反応が異なることを明らかにした。この結果は、開眼状態と閉眼状態という条件の違いだけでなく、圧覚に視覚刺激を加えた際には、圧覚単一の刺激を加えた場合とは異なる生理反応となる結果が得られたと考察できる。本章では、この結果を踏まえて、多感覚統合の観点から着心地を評価するために、被服圧による圧覚刺激と各種提示条件による視覚刺激を組み合わせて提示した場合の生理反応を計測する実験を行った。この実験は、着心地評価において単一感覚による評価と、日常生活と同様の多感覚統合による評価を行った場合の違いに関する基礎調査であり、多感覚統合を見据えた今後の着心地評価における実験環境設定への知見を得ることを目的としている。本章で述べる内容は、視覚刺激の提示方法が異なる二つの実験（実験ⅠとⅡ）から構成されている。実験Ⅰでは、暗所明所のように視覚刺激の強弱は生理反応に対して影響を与えることが推測できることから、ある明るさに順応している被験者に対してウエストベルトによる圧覚刺激を提示した際の生理反応の違いを調査した。実験Ⅱでは、ウエストベルトによる圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激の二種類の刺激が提示されたことによって生理反応に相乗的な影響を与えることが推測できるため、被服圧に対する生理反応[圧覚]、輝度変化に対する生理反応[視覚]、被服圧と輝度の両方の変化に対する生理反応[圧覚+視覚]という3パターンに分けて、単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの生理反応の違いを調査した。

第2章の実験において、身体に圧迫負荷を与えた場合、副交感神経活動の亢進は、リラックス状態であるという判断ではなく、身体的負荷に対する反応であること、自律神経活動割合を用いたストレス評価では、恒常性維持機能を考慮して定常時からの変動をストレスと捉えるべきということを述べた。本実験においても、第2章の実験とは異なる条件のもとで同様の反応が見られるかを検証した。



### 3.2. 実験方法

実験条件は，ウエストベルトによる圧覚刺激と，輝度変化による視覚刺激の組み合わせから表 3-1 に示すように全 7 条件にまとめられる．実験Ⅰは 3 条件，実験Ⅱは 5 条件から成る．それぞれの実験条件の内容を図 3-1 に示す．

表 3-1 実験条件の比較内容

実験条件	被服圧の有無 [ 圧覚 ]	輝度の変化 [ 視覚 ]	被服圧と輝度の変化 [ 圧覚 + 視覚 ]
1. 【 L → L+P → L 】	○		
2. 【 M → M+P → M 】	○●		
3. 【 H → H+P → H 】	○		
4. 【 M → L → M 】		●	
5. 【 M → H → M 】		●	
6. 【 M → L+P → M 】			●
7. 【 M → H+P → M 】			●

P：被服圧    L：低輝度環境    M：中輝度環境    H：高輝度環境

○：[実験Ⅰ] 輝度による視覚刺激の違いが被服圧に伴う生理反応へ与える影響

●：[実験Ⅱ] 被服圧による圧覚刺激の変化，輝度による視覚刺激の変化，およびその両方の変化が生理反応へ与える影響

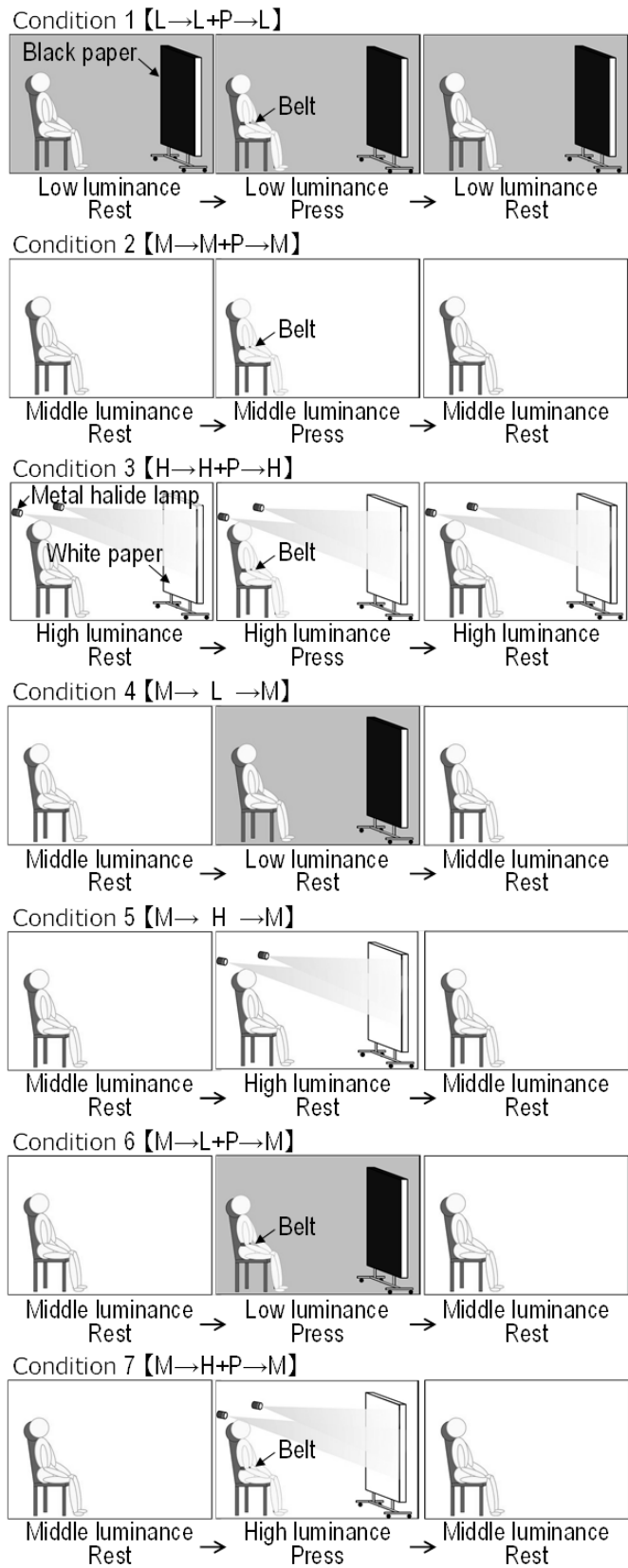


図 3-1 実験条件

圧覚刺激として設定した被服圧（Press：以降 P とする）は，第 2 章の実験と同様に日常生活における被服圧を想定し，幅 4cm の非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した．圧迫の負荷を被験者ごとに均一とするため，被験者の胴囲に対してベルト長を 10%短くする条件で被験者の腹部に被服圧を加えた．

視覚刺激として，以下に示す輝度の異なる三つの環境（低輝度，中輝度，高輝度）を設定した．①低輝度環境（Low luminance：以降 L とする）は，実験室内の照明を最も暗く調光し，被験者の 1m 前方に設置されたつや消しの黒紙を固視している状態とした．被験者の視線位置の輝度は  $0.2\text{cd}/\text{m}^2$  であった．②中輝度環境（Middle luminance：以降 M とする）は，実験室内の照明を最も明るく調光し，実験室内の白色壁面を固視している状態とした．被験者の視線位置の輝度は  $122.2\text{cd}/\text{m}^2$  であった．③高輝度環境（High luminance：以降 H とする）は，実験室内の照明を最も明るく調光し，被験者の 1m 前方に設置された白紙を固視している状態とした．なお，このとき白紙にメタルハライドファイバー照明装置（LS-M160，株式会社住田光学ガラス社製）にて二分岐ライドガイドを用いて照射させた．被験者の視線位置の輝度は  $382.0\text{cd}/\text{m}^2$  であった．輝度測定は，輝度計（BM-8，株式会社トプコン社製）を用いて，測定角  $2^\circ$  で行った．

図 3-1 の条件 1～3 は，実験 I の設定を示す．安静・刺激・再安静の各プロセスにおいて輝度が一定の環境下で実施した．図 3-1 の条件 2，4～7 は，実験 II の設定を示す．実験 II では，単一感覚への刺激に対する生理反応と，複数の感覚への刺激に対する生理反応を比較するために，輝度を経時的に変化させて視覚刺激を提示した場合の生理反応への影響を調査すること，さらに被服圧による圧覚刺激を同時に提示した場合の生理反応への影響を調査する．視覚刺激が中程度の M（輝度： $122.2\text{cd}/\text{m}^2$ ）から低程度の L（輝度： $0.2\text{cd}/\text{m}^2$ ）に変化させた場合〔条件 4 M→L→M〕と中程度の M から高程度の H（輝度： $382.0\text{cd}/\text{m}^2$ ）に変化させた場合〔条件 5 M→H→M〕の視覚刺激の変化に伴う生理反応への影響を調査する．さらに，視覚刺激と圧覚刺激を同時に提示させた場合〔条

件 2 M→M+P→M] [条件 6 M→L+P→M] [条件 7 M→H+P→M] における生理反応の違いについて比較する。

実験は、図 3-2 に示すように安静 2 分間、刺激 2 分間、再安静 2 分間の計 6 分間を 1 セットとして行った。これを被験者ごとに 7 条件実施した。順序効果を相殺するため、実験条件の順番は被験者ごとランダムに提示し、条件間の休憩は 5 分間とした。実験中の呼吸は、胸式呼吸とし一定のリズムを心がけるよう被験者に指示し、ため息等の呼吸の変化を禁じた。

測定項目は、多数の実験条件による被験者の負担を軽減するため、生理反応からの評価を優先し、官能検査を除く心電図、脳波の 2 項目とした。被験者は健常な成人 6 名(男性 4 名[年齢  $22 \pm 0$  歳, 胸囲  $76.4 \pm 12.3$  cm, BMI  $21.6 \pm 4.6$ ], 女性 2 名[年齢  $21 \pm 0$  歳, 胸囲  $77.8 \pm 1.8$  cm, BMI  $23.0 \pm 2.8$ ])であった。被験者には実験開始 2 時間前から飲食喫煙を禁じた。被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした。実験室の温湿度条件は、基本着衣状態で快適と感じる  $25^{\circ}\text{C}$ , 60%R.H.とした。被験者は姿勢を保持するためにリクライニングシートに着座し、電極貼付後 15 分間の安静時間を取り、脳波波形および心拍数の安定を確認した後に測定を開始した。

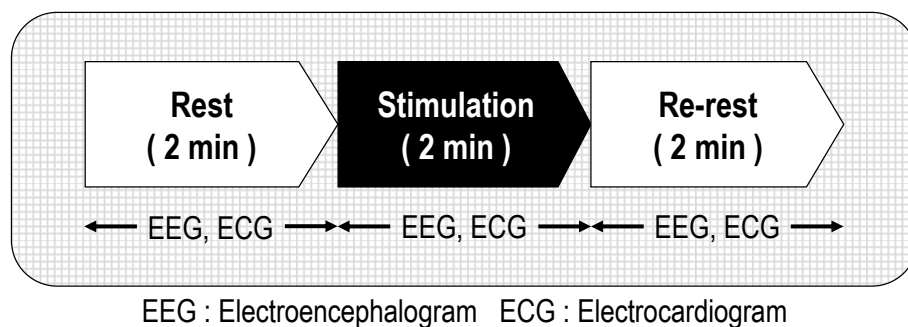


図 3-2 実験プロトコル

脳波は、国際標準 10-20 電極配置法による  $C_3, C_4, P_3, P_4$  の 4 箇所 に Ag/AgCl 皿型電極を貼付し、耳朶をアースとした単極導出法で導出された。心電図は四肢誘導によって導出された。脳波、心電図ともにサンプリング周波数は 200Hz

とし、測定の制御およびデータの取り込みはノート型コンピュータを用い、データ採取ツール Acqknowledge (BIOPAC SYSTEMS 社製) で行った。

脳波解析は、第 2 章の腹部圧迫実験と同様の方法で行い、 $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波を算出し、 $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  帯域に占める各波の割合を求めることで次のように規格化した。

$$\theta_1 = \theta / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\alpha_1 = \alpha / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\beta_1 = \beta / (\theta + \alpha + \beta)$$

心電図の解析も、第 2 章の腹部圧迫実験と同様の方法で行い、交感神経活動割合 (LF/HF) と副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF)) を求めた。

実験より得られた脳波、心電図のそれぞれのデータに対し、統計解析ソフト (Excel 統計 2010, 社会情報サービス社製) を用いて Bonferroni 法による多重比較を行った。

### 3.3. 結果および考察

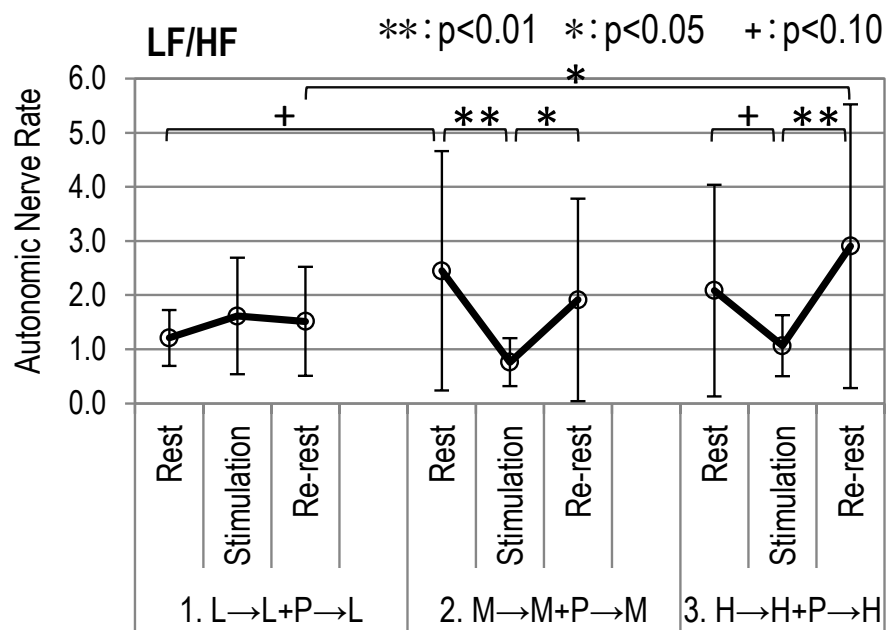
#### 3.3.1 実験 I : 輝度による視覚刺激の違いが被服圧に伴う 生理反応へ与える影響

3 種類の輝度環境 (L, M, H) において被服圧による圧覚刺激を提示した際の生理反応を計測し、その違いを比較した結果を以下に示す。図 3-3 に LF/HF, HF/(LF+HF) の変化を示す。LF/HF, HF/(LF+HF) とともに、輝度環境が L よりも M, H の方がウエストベルトによる圧覚刺激に対する反応が大きくあらわれた。M および H の環境では LF/HF は腹部圧迫時に有意に減少し、再安静時に有意に増加した。HF/(LF+HF) は圧迫時に有意に増加し、再安静時に有意に減少した。刺激に対して HF/(LF+HF) が亢進したこの結果は、定常時からの自律神経活動の変動をストレスと捉える恒常性維持機能に基づく反応と考えられる。L では、LF/HF, HF/(LF+HF) とともに圧迫に対する反応に有意差は見られなかった。これらのことから実験環境において低輝度の視覚刺激よりも高輝度の視

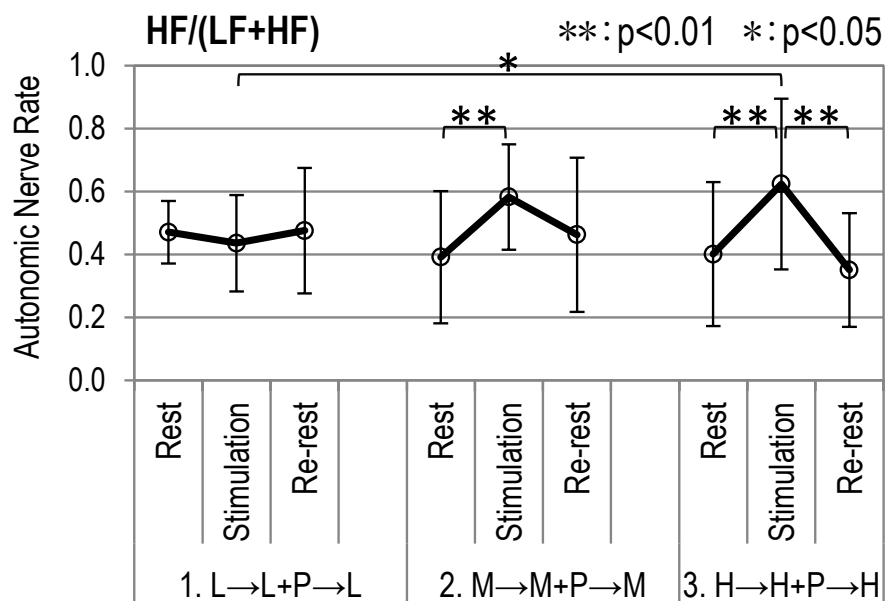
覚刺激の方が，安静から刺激，刺激から再安静への刺激変化時において腹部圧迫に対する反応をより亢進させることが示された．従って，明るさに関する視覚刺激の程度により，圧覚刺激に対する反応が異なる可能性が示された．

図 3-4 に脳波の解析結果を示す．全ての輝度環境において圧覚刺激に対する脳波の有意な変化は認められなかった．第 2 章において閉眼状態では  $\alpha$ -blocking と見られる現象が確認されたのに対し，開眼状態では顕著な変化が見られなかったことを考え合わせると，いずれの輝度環境でも開眼状態では圧覚刺激に対する脳活動があらわれにくくなる可能性が考えられる．また，輝度環境による視覚刺激に対する反応として，輝度環境が L では，時間の経過とともに  $\theta$  波の増加が認められた．H では，時間経過に伴う  $\theta$  波の減少， $\beta$  波の増加が認められた．このことから，輝度環境の違いによって脳活動は異なり，低輝度環境 L では徐波が誘導される傾向にあり，高輝度環境 H では速波が誘導される傾向になることが示された．

これら自律神経活動および脳波の結果から，被服圧を評価する際の実験環境として，低輝度の視覚刺激と高輝度の視覚刺激では生理反応が異なることが示された．よって，着衣快適性評価の実験環境設定を考える際，明るさに関する視覚刺激が異なると生理反応が異なることを考慮し，評価するアイテムの実際の着用シーンに近い明るさ設定が望ましいことが明らかとなった．また，暗い低輝度の視覚刺激よりも明るい高輝度の視覚刺激の方が，圧覚刺激に対する自律神経活動の変化が大きくなったことから，被服圧に対する顕著な生理反応を見るためには，暗い低輝度の視覚刺激よりも明るい高輝度の視覚刺激の方が調査しやすいことが示された．



(a) 交感神経活動割合 (LF/HF)



(b) 副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF))

図 3-3 自律神経活動の変化 (実験 I : 条件 1,2,3)

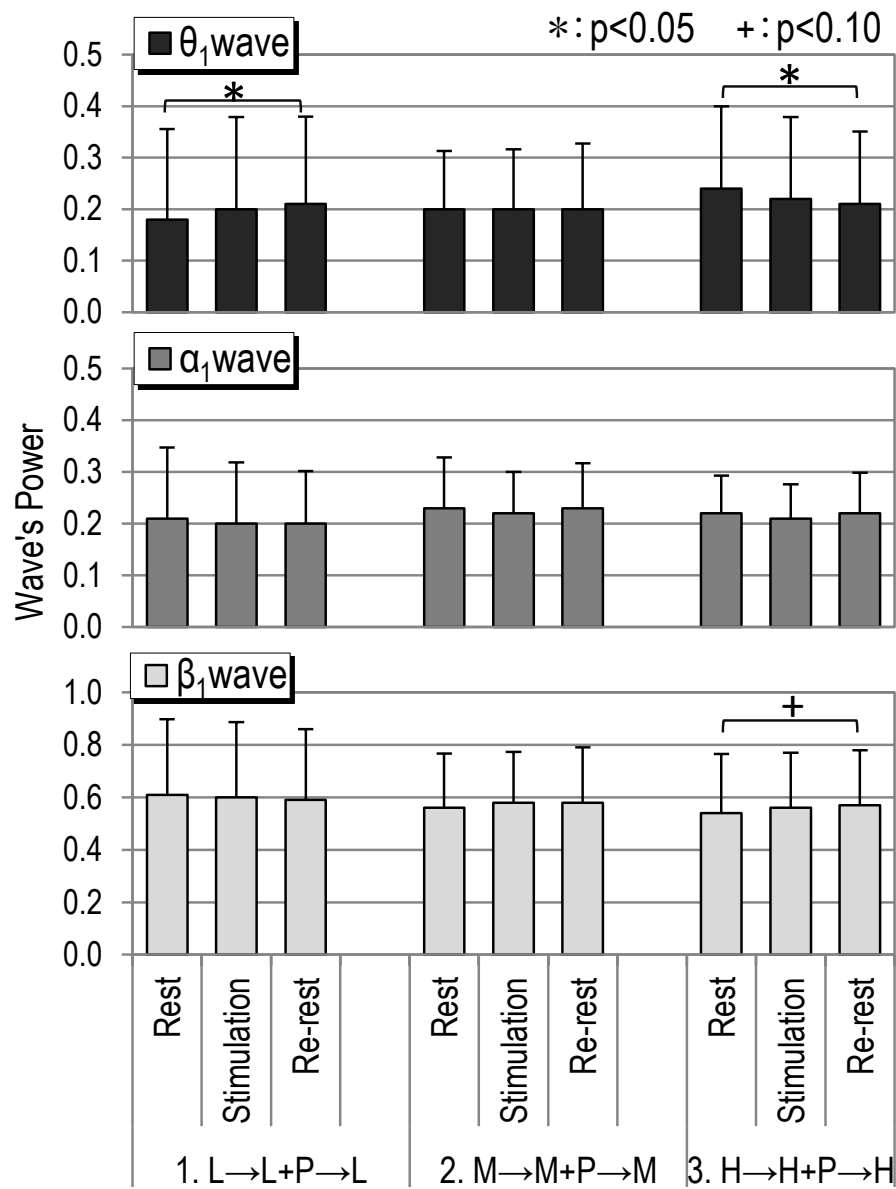


図 3-4 脳活動の変化（実験 I：条件 1,2,3）

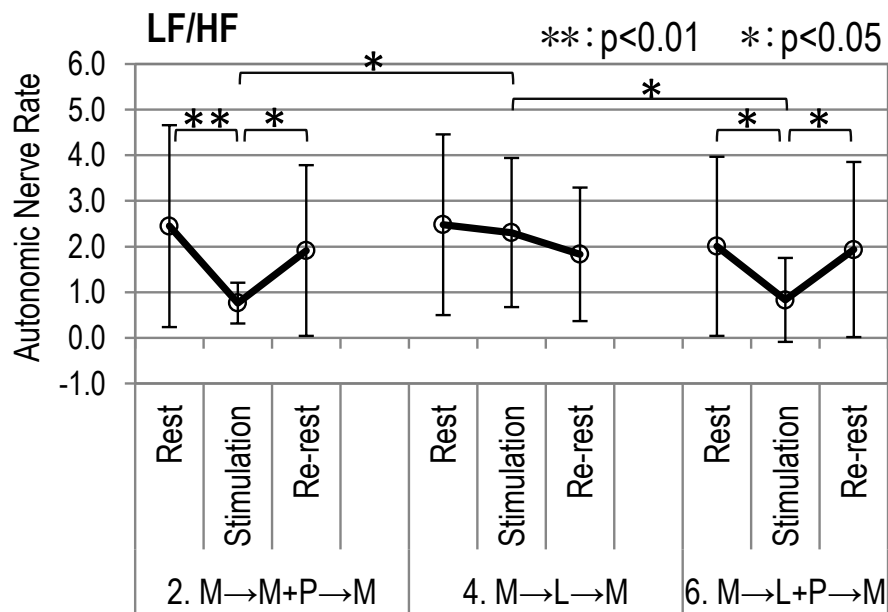


### 3.3.2 実験Ⅱ：

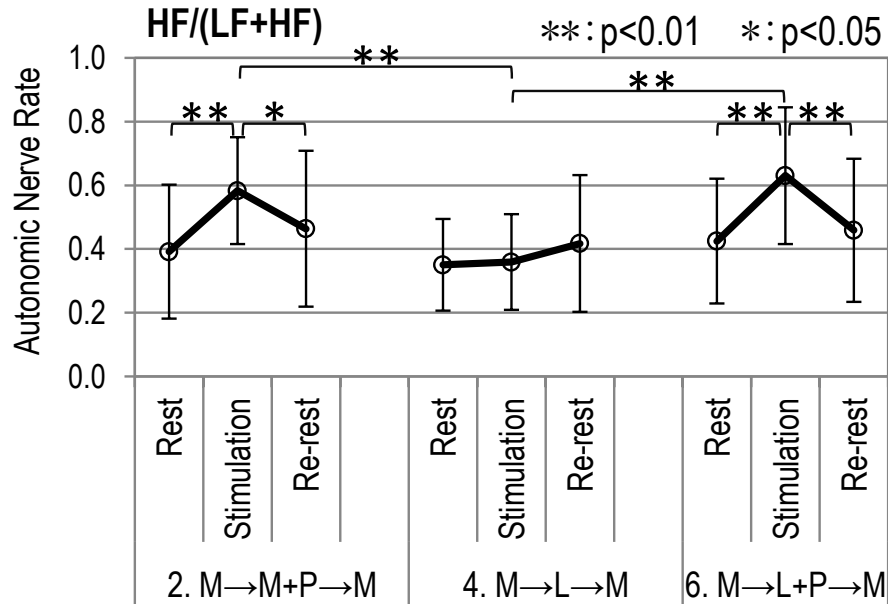
被服圧による圧覚刺激の変化, 輝度による視覚刺激の変化,  
およびその両方の変化が生理反応へ与える影響

単一感覚への刺激に対する生理反応と、複数の感覚への刺激に対する生理反応を比較した結果を以下に示す。まず、視覚刺激が中輝度から低輝度に変化した場合について結果を示す。被服圧による圧覚刺激が提示される実験条件 [2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] と輝度が暗く変化する実験条件 [4.  $M \rightarrow L \rightarrow M$ ] と圧覚刺激とともに輝度が暗く変化する実験条件 [6.  $M \rightarrow L+P \rightarrow M$ ] の比較について、図 3-5 に LF/HF, HF/(LF+HF) の変化を示す。[2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] では圧覚刺激が加わることで LF/HF が減少し、HF/(LF+HF) が増加したことから、圧覚刺激が副交感神経活動の亢進に影響したと考えられる。[4.  $M \rightarrow L \rightarrow M$ ] では被験者の視覚に入る輝度が下がることによる自律神経活動への影響に有意な変化は認められなかった。[6.  $M \rightarrow L+P \rightarrow M$ ] では圧迫と輝度低下という二つの刺激が同時に入力されたことによって、LF/HF が減少し、HF/(LF+HF) が増加した。これは圧覚刺激だけが入った [2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] と同様の变化傾向であった。

図 3-6 に脳波の解析結果を示す。[2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] および [6.  $M \rightarrow L+P \rightarrow M$ ] では脳活動に有意な変化は認められなかった。[4.  $M \rightarrow L \rightarrow M$ ] では、輝度が低下することによって  $\theta$  波が増加し、 $\beta$  波が減少する徐波化が認められた。圧迫と輝度低下の刺激が同時に入力された [6.  $M \rightarrow L+P \rightarrow M$ ] では輝度の変化条件は [4.  $M \rightarrow L \rightarrow M$ ] と同じだが、圧覚刺激が加わることで脳活動の徐波化が見られなかった。



(a) 交感神経活動割合 (LF/HF)



(b) 副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF))

図 3-5 自律神経活動の変化 (実験Ⅱ：条件 2,4,6)

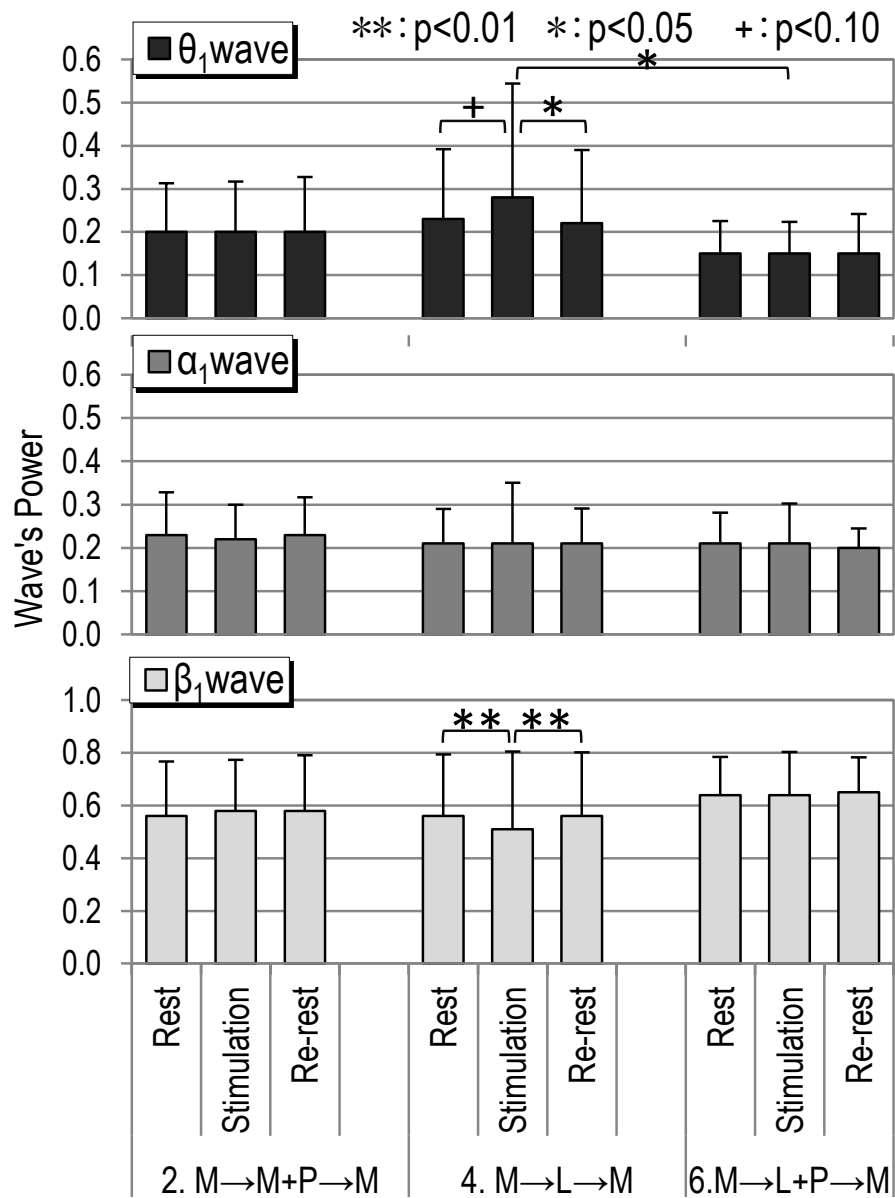
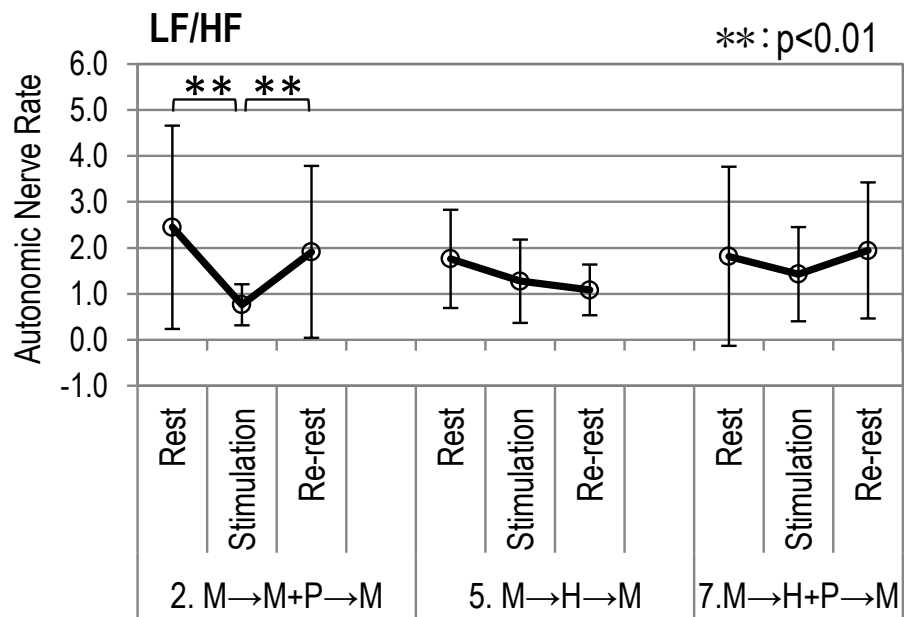


図 3-6 脳活動の変化（実験Ⅱ：条件 2,4,6）

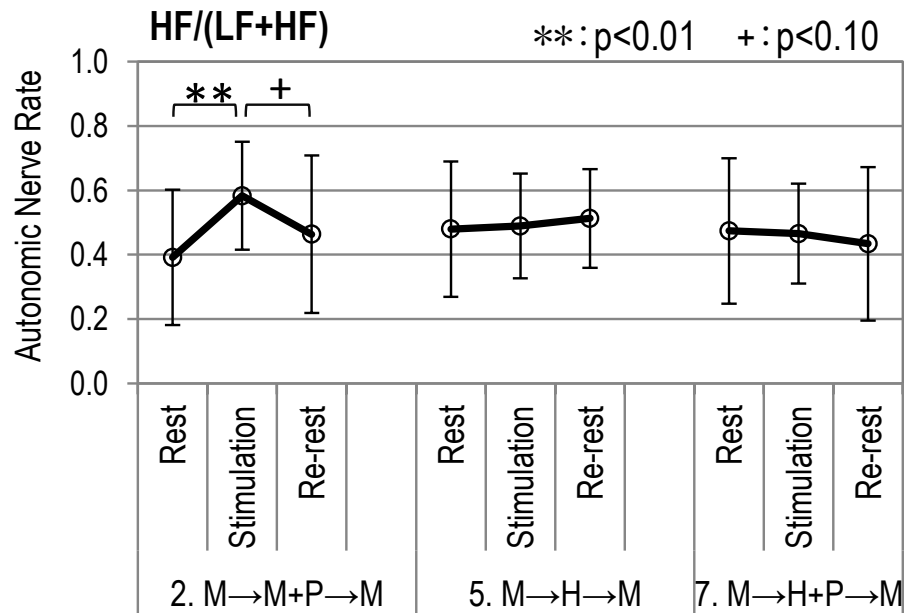
次に、視覚刺激が M から H に変化した場合についての結果を示す。被服圧による圧覚刺激が提示される実験条件 [2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] と輝度が明るく変化する実験条件 [5.  $M \rightarrow H \rightarrow M$ ] と圧覚刺激とともに輝度が明るく変化する実験条件 [7.  $M \rightarrow H+P \rightarrow M$ ] の比較について、図 3-7 に  $LF/HF$ ,  $HF/(LF+HF)$  の変化を示す。[2.  $M \rightarrow M+P \rightarrow M$ ] では圧覚刺激が入ることで  $LF/HF$  が減少し、 $HF/(LF+HF)$  が増加し、副交感神経活動が亢進した。[5.  $M \rightarrow H \rightarrow M$ ] では被験者の視野に入る輝度が上がることによる自律神経活動の有意な変化は認められなかった。[7.  $M \rightarrow H+P \rightarrow M$ ] では圧迫と輝度の上昇という二つの刺激が同時に入力されたことによる有意な変化は認められなかった。圧覚刺激だけが入力された場合には副交感神経活動の亢進が認められたが、そこに輝度の上昇という視覚からの刺激が加わることで自律神経活動への影響が抑制された可能性が示唆された。

図 3-8 に脳波の解析結果を示す。[5.  $M \rightarrow H \rightarrow M$ ] および [7.  $M \rightarrow H+P \rightarrow M$ ] では輝度が上がることによって  $\theta$  波の減少、 $\beta$  波の増加が認められた。これらのことから、圧覚刺激の有無によらず、輝度の増加は脳活動の速波化に影響を及ぼすことが示された。

以上の結果から、被服圧の変化と輝度の変化が一緒に起きた場合の生理反応は、被服圧による圧覚刺激に対する反応と、輝度の変化による視覚刺激に対する反応の「平均」あるいは「総和」といった単純な反応ではないことが示唆された。また、輝度変化において明暗の方向性によっても生理反応が異なった。輝度が低くなる変化では、圧覚刺激と視覚刺激が一緒に起きた場合、圧覚刺激だけが起きた場合と類似の反応が見られた。一方、輝度が高くなる変化では、視覚刺激だけが起きた場合と類似の反応が見られた。このことから、常に視覚は圧覚よりも優位に影響しているわけではないことが明らかとなった。



(a) 交感神経活動割合 (LF/HF)



(b) 副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF))

図 3-7 自律神経活動の変化 (実験Ⅱ：条件 2,5,7)

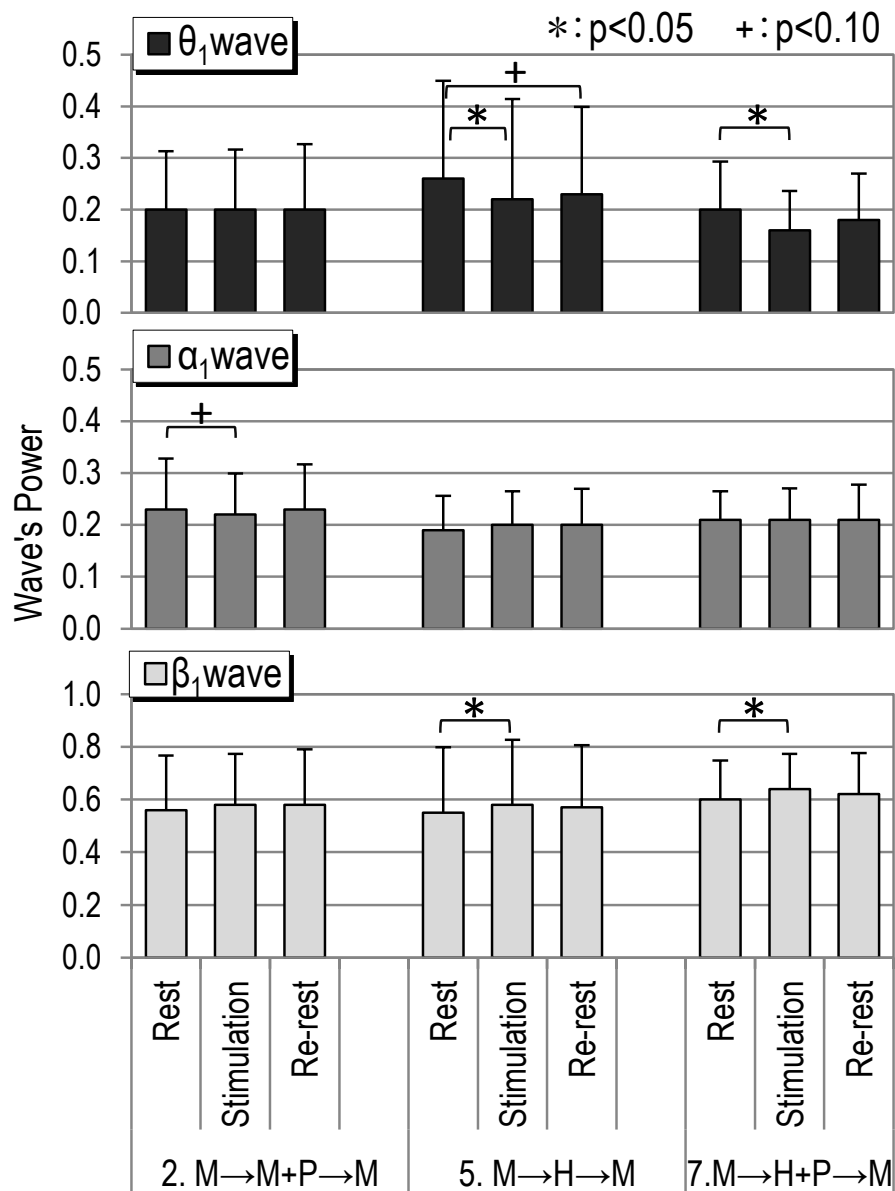


図 3-8 脳活動の変化（実験Ⅱ：条件 2,5,7）

### 3.4. まとめ

本章では、実験Ⅰ:被験者の視野の明るさの違いが、被服圧に対する生理反応へ与える影響と、実験Ⅱ:被服圧による圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激を組み合わせることで、それぞれ単一の刺激に対する生理反応と２種類の刺激が一緒に与えられた場合の生理反応の違いを調査した。

まず実験Ⅰについて、実験環境の輝度が高い場合には、脳波が速波化し、圧覚刺激を入力した場合の自律神経活動の反応が顕著に見られた。一方、輝度が低く視覚刺激が弱い場合には、脳波が徐波化し、圧覚刺激を入力した際の自律神経活動の反応が顕著に見られなかった。このことから実験環境の明るさが被服圧に対する生理反応へ影響を与えていることが示された。よって、着衣快適性評価における実験環境設定は、評価する被服の実際の着用シーンを考慮した環境下で評価することが望ましいことが示唆された。また、特定の輝度環境でのみ着用する被服でなければ、暗く視覚刺激が弱い環境よりも、明るく視覚刺激が強い環境の方が被服圧に対する生理反応が顕著に見られることも示された。

次に実験Ⅱについて、被服圧による圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激が一緒に与えられた場合の生理反応では、それぞれ単一の刺激が与えられた場合にあらわれる生理反応の総和や平均といった単純な反応ではないことが示された。輝度が低く弱い視覚刺激下では、輝度の変化（視覚）よりも被服圧の変化（圧覚）に対する生理反応が優位であり、輝度が高く強い視覚刺激下では、被服圧の変化（圧覚）よりも輝度の変化（視覚）に対する生理反応が優位に見られた。これは、圧覚と視覚という複数の感覚情報が統合されると、感覚及び反応の処理機構にとって、より大きな刺激に対する生理反応が優位に出現したためと考えられる。よって、被服の着心地評価において、感覚の種類に絶対的な優劣があるわけではなく、多感覚情報が統合された際にそれぞれの感覚情報が与える影響の程度によって出現する生理反応が異なる可能性を得た。このことは、圧覚刺激に対する生理反応を、視覚刺激を用いることで表出させない効果があるとも言え、その効果を積極的に活用すると、輝度変化が激しい場合には、圧迫

によるストレスを無自覚化することができることを示唆している．その一方で圧覚刺激に対する注意喚起をすべき状況もあると想定される．

また，身体に圧迫負荷を与えた場合，副交感神経活動の亢進が見られ，恒常性維持機能を考慮して定常時からの変動をストレスと捉えるべきということを示した第 2 章の実験結果と同様の結果が本実験においても再確認された．

本章では，視覚情報としては輝度の高低を変えた単純な光刺激の提示であったが，実際の生活では締め付けやくい込みなどの圧迫に関連した視覚情報の提示が起こり得る．実生活に即した着心地評価を考えるためには，日常起こり得る視覚情報の提示に伴う心理生理反応の計測が必要である．



## 第 4 章

### 視覚からの被服圧情報が心身に与える影響

#### 4.1. はじめに

第3章では、閉眼状態・開眼状態の次のステップとして輝度の変化という視覚情報として明暗以外の意味を持たないシンプルな視覚刺激の違いが腹部への被服圧に対する生理反応に与える影響について検証した。実験環境の輝度の違いによって同じ被服圧の提示であっても生理反応が異なること、被服圧の提示と同時に視覚刺激が加わると各感覚情報が与える影響の程度によって出現する生理反応が異なることを確認した。本章では、多感覚統合による心理生理反応に関するさらなる知見を得るために、被服圧に関する情報を持つ視覚情報の提示が心理生理反応に与える影響を検証した。具体的には、日常生活で起こり得る、ウエストベルトをした自分の姿を鏡で見ることで、ベルトを締めた他者を見ることによる視覚情報の入力に与える影響を調査した。

#### 4.2. 実験方法

実験は、圧覚からの被服圧情報に対する心身反応[圧覚]、圧覚と視覚からの被服圧情報に対する心身反応[圧覚+視覚]、視覚からの被服圧情報に対する心身反応[視覚]という三つの条件で行った。単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの心理生理反応の違いを調査した。それぞれの実験条件を図4-1に示す。

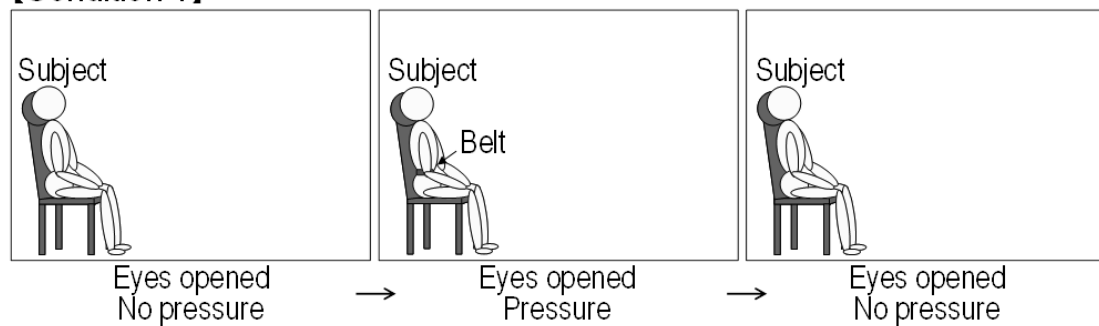
圧覚刺激として設定した被服圧は、第2章、第3章の実験と同様に、幅4cmの非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した。圧迫の負荷を被験者ごとに均一とするため、被験者の胴囲に対してベルト長を10%短くすることで被験者の腹部に圧覚刺激を提示した。

視覚刺激として三つの条件を設定した。条件1は、実験中の6分間、実験室内の白色壁面を固視している状態とした。条件2は、刺激時の2分間、被験者の1m前方に設置した鏡でベルトを締めている腹部を固視している状態とした。安静時および再安静時は実験室内の白色壁面を固視している状態とした。条件3は、刺激時の2分間、被験者はウエストベルトを締めず、被験者の前方に座っ

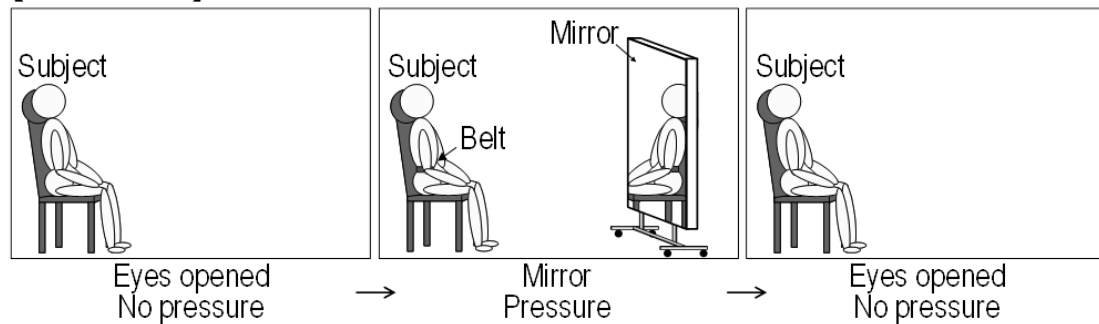
たウエストベルトを締めいている他者の腹部を固視している状態とした。安静時および再安静時は実験室内の白色壁面を固視している状態とした。

実験は、図 4-2 に示すように安静 2 分間、刺激 2 分間、再安静 2 分間の計 6 分間を 1 セットとして行った。これを被験者ごとに 3 条件実施した。順序効果を相殺するため、実験条件の順番は被験者ごとランダムに提示し、条件間の休憩は 5 分間とした。実験中の呼吸は、胸式呼吸とし一定のリズムを心がけるよう被験者に指示し、ため息等の呼吸の変化を禁じた。

【Condition 1】



【Condition 2】



【Condition 3】

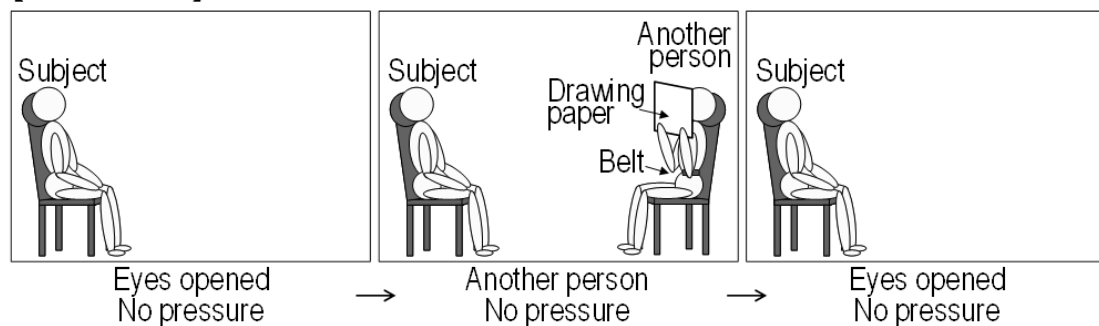


図 4-1 実験条件

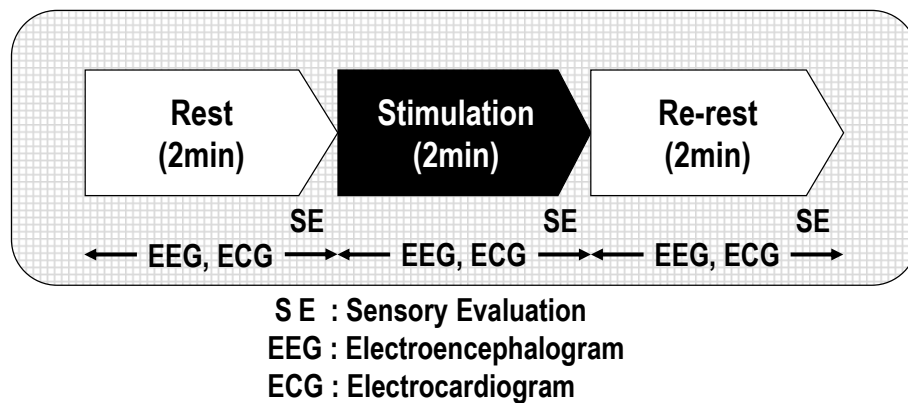


図 4-2 実験プロトコル

測定項目は心電図，脳波，官能検査とし，被験者は健常な成人 10 名(男性 6 名[年齢  $22 \pm 1$  歳，胴囲  $75.4 \pm 11.3$ cm，BMI  $21.1 \pm 4.8$ ]，女性 4 名[年齢  $22 \pm 1$  歳，胴囲  $72.6 \pm 7.5$ cm，BMI  $21.4 \pm 2.7$ ])であった．被験者には実験開始 2 時間前から飲食喫煙を禁じた．被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした．実験室の温湿度条件は，基本着衣状態で快適と感じる  $25^{\circ}\text{C}$ ，60%R.H.とした．被験者は姿勢を保持するためにリクライニングシートに着座し，電極貼付後 15 分間の安静時間を取り，脳波波形および心拍数の安定を確認した後に測定を開始した．官能検査は安静 2 分後，刺激 2 分後，再安静 2 分後に計 3 回行った．

心電図および脳波の計測，解析は，第 3 章の実験と同様の方法で行った．官能検査は，快適感（快適－不快），圧迫感（圧迫感がある－圧迫感がない），覚醒感（眠くない－眠い）について，「非常に・とても・やや・どちらともいえない」の 7 段階評定(+3 － -3)で実施した．実験より得られた心電図，脳波，官能検査のそれぞれのデータに対し，統計解析ソフト（Excel 統計 2010 社会情報サービス社製）を用いて Bonferroni 法による多重比較を行った．

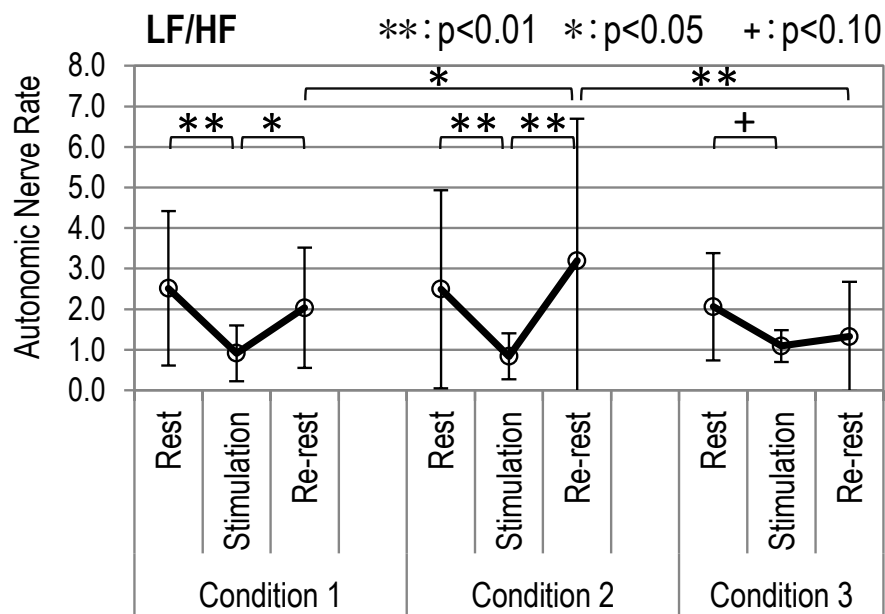
### 4.3. 結果および考察

#### 4.3.1 自律神経活動

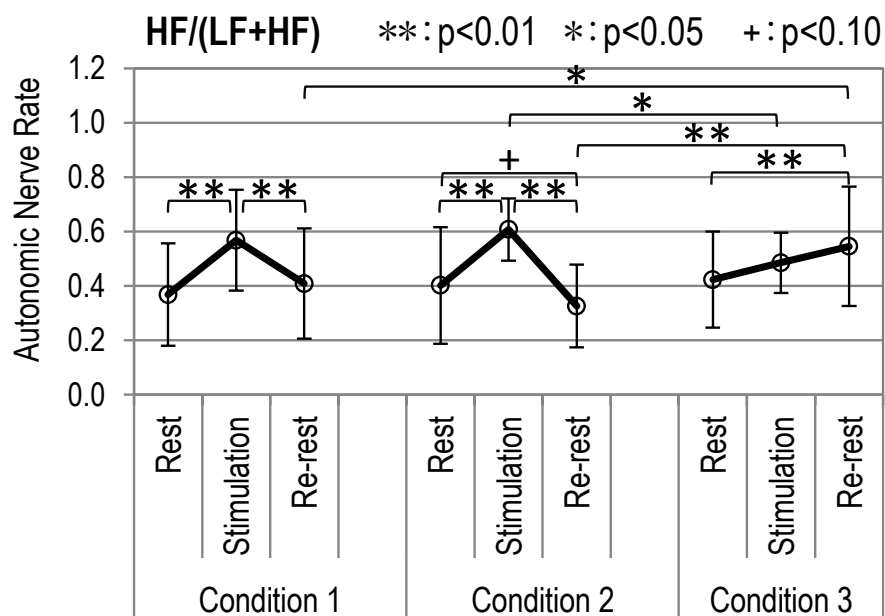
図 4-3 (a) に LF/HF の結果を示す。三つの実験条件全てにおいて、安静状態から刺激が入力されると LF/HF の値が減少した。被服圧の情報が視覚からのみ入力される条件 3 においても LF/HF の値に減少傾向が認められた。条件 1 と条件 2 は両方とも危険率 1% で有意に減少した。被服圧の情報が圧覚のみから入力される条件 1 と、圧覚と視覚（鏡）の両方から入力される条件 2 の条件間において、刺激が入力されたときの値に有意差は認められなかった。つまり、視覚からの情報が加わることで自律神経系の反応がより大きなものになるわけではなかった。おそらく、二つの条件に共通する圧覚からの情報に対する生理反応が顕著にあらわれたと考えられる。また再安静時の値について、条件 2 は条件 1 および条件 3 よりも有意に高い。これは、被服圧の情報が圧覚と視覚の両方から入力されることにより、刺激から解放されたときの反動が大きかったのではないかと推察される。

図 4-3 (b) に  $HF/(LF+HF)$  の結果を示す。条件 1 と条件 2 において、安静状態から刺激が入力されると  $HF/(LF+HF)$  の値が危険率 1% で有意に増加した。この二つの条件間において、刺激が入力されたときの値に有意差は認められなかった。LF/HF の結果と同様に、被服圧の情報が圧覚と視覚の両方から入力される条件 2 は、圧覚のみから入力される条件 1 との間に有意な差が認められず、視覚からの情報が加わることで自律神経系の反応が大きくなるというわけではない結果が示された。条件 1 と条件 2 の両条件に共通する圧覚からの情報に対する生理反応が顕著にあらわれたと考えられる。

これらのことから、腹部への被服圧に対する自律神経系の反応は、圧覚からの情報入力を与える影響が大きいことがわかった。視覚からの情報入力は圧覚からの情報入力と反応の方向性は同じであったが変化傾向程度であり、同程度の有意な変化は認められなかった。



(a) 交感神経活動割合 (LF/HF)



(b) 副交感神経活動割合 (HF/(LF+HF))

図 4-3 自律神経活動の変化

### 4.3.2 脳活動

図 4-5 に脳波の結果を示す。被服圧情報が圧覚からのみで視覚から入力されない条件 1 では  $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波のいずれにおいても有意な変化は認められなかった。これに対し、被服圧情報が視覚から入力される条件 2 および条件 3 では、刺激から解放された再安静時において、減少していた  $\alpha$  波が有意に増加した。条件 2 では、 $\theta$  波が刺激により有意に増加し、再安静時には有意に減少した。また、 $\beta$  波においては、いずれの条件においても有意な変化は認められなかった。これらのことから被服圧情報の視覚からの入力が入力が脳活動に影響を与えていることが示された。

### 4.3.3 官能検査

図 4-6 に官能検査の結果を示す。三つの実験条件全てにおいて、刺激が加わることで快適感が減少し、圧迫感が増加し、覚醒感が増加する結果となった。条件 3 の視覚からの被服圧情報の入力だけでも刺激時に圧迫感が有意に増加し、再安静時に有意に減少した。このことから、被験者自身がウエストベルトを締めていなくても、他者の被服圧情報を視覚から入力されることで心理反応に影響を与えることが示された。

条件 2 の圧迫感の結果では、再安静時の値は安静時よりも高く、圧覚と視覚の両方から刺激が加わることで回復しにくかったと推察される。また標準偏差の値に着目すると、条件 2 の快適感と圧迫感は、刺激時に標準偏差の値の減少すなわち被験者ごとの反応のばらつきが小さくなる傾向が、条件 1 および条件 3 よりも顕著に見られた。鏡を見ることによる複数の感覚器から被服圧情報が入力されることで、単一感覚から被服圧情報が入力される実験条件よりも刺激強度が強く、被験者ごとの反応が収束した可能性が考えられる。

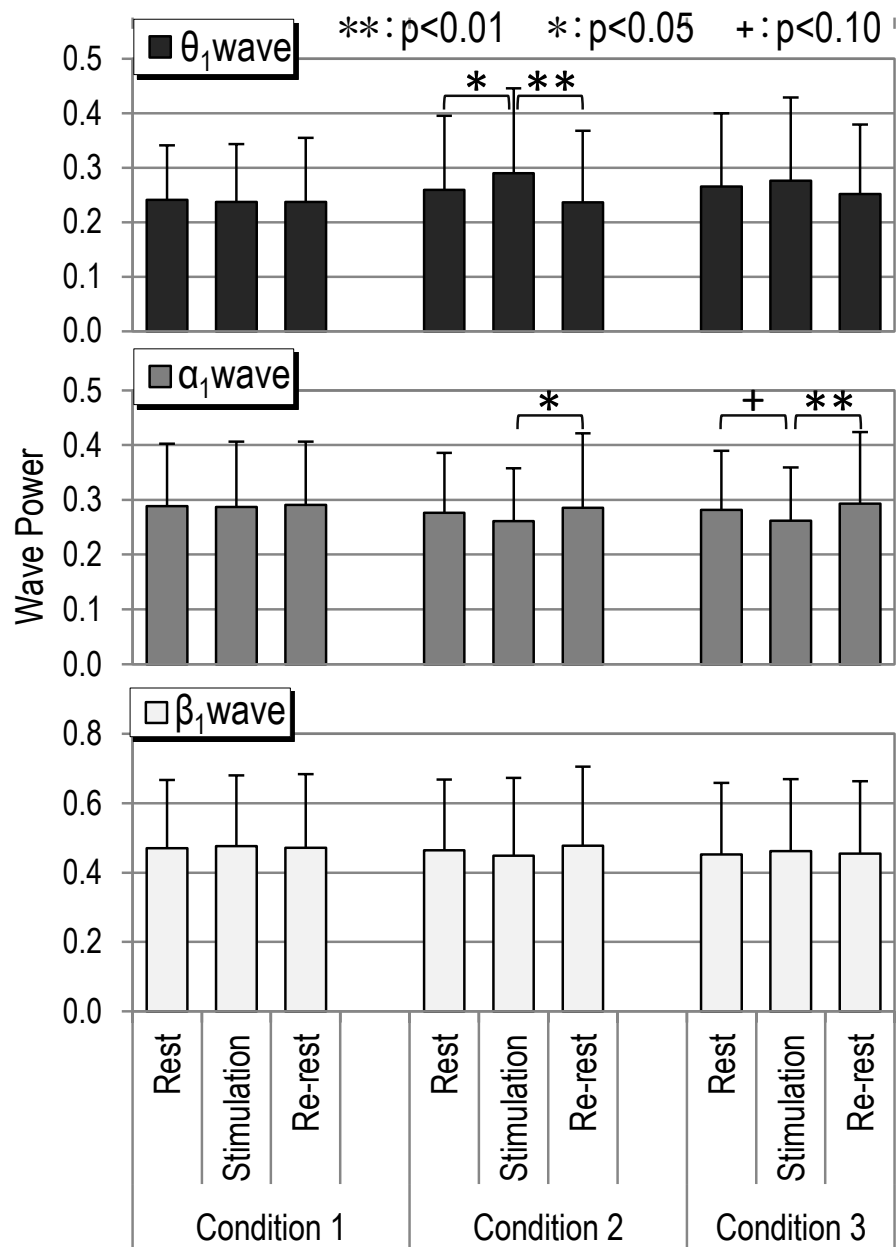


図 4-5 脳活動の変化





#### 4.4. まとめ

本章の実験では、被服圧に関する情報を持つ視覚情報の提示が心理生理反応に与える影響を検証した。その結果、自律神経活動の変化では、ウエストベルトを締めている他者を見るだけでも、被験者自身がウエストベルトを締めている状態、あるいはその姿を鏡で見ている状態のときと類似の変化傾向が見られた。被服圧情報が圧覚と視覚の両方から入力された実験条件では、刺激が入力された後の再安静時の自律神経活動が、刺激が入力される前の安静時の値を超える反動が見られた。また、圧覚への刺激と視覚への刺激に対する反応を比較すると、圧覚への刺激の方が自律神経活動に与える影響が大きい可能性が示唆された。

脳活動では、圧覚からの被服圧情報だけでは有意な変動は認められなかったが、視覚からの被服圧情報が入力されることで、 $\alpha$ 波の減少や $\theta$ 波の増加が見られた。これらのことから、被服圧に関する情報を持つ視覚情報が加わることによって、被服圧に対する脳活動が変わることが示された。

官能検査では、視覚からの被服圧情報が圧迫感の得点の増加に影響を与えることが示された。また、圧覚と視覚の両方から被服圧情報が入力されると、刺激から解放された安静時に圧迫感が回復しにくいという結果が得られた。

これらのことから、被服圧に関する情報が視覚から入力された場合においても、心身反応に影響を与えており、その変化の方向は圧覚から入力されたときと同じであること、また自律神経系からの評価では圧覚刺激に対する反応を、中枢神経系からの評価では視覚刺激に対する反応を捉えやすい可能性を得た。

脳活動に関して本章を含めてこれまでの章では、頭頂付近の局所的な脳波計測からマクロにとらえることで、本研究の着眼点である多感覚統合を考慮した被服圧評価について検討してきた。被服圧が脳活動に与える影響をさらに詳しく、また計測に適した脳部位を把握するために、より広範囲にわたり脳活動を調査する必要がある。

## 第 5 章

近赤外分光法を用いた

ウエストベルトによる被服圧下における脳活動計測

## 5.1. はじめに

第 2 章から第 4 章までの実験で、目を閉じて視覚情報を遮断した状態と、目を開けた状態、さらに提示する視覚情報の内容によっても被服圧に対する心身反応が異なる知見が得られた。本章では、多感覚統合を考慮した着心地評価手法を構築するための基礎研究として、開眼状態における被服圧が中枢神経系に与える影響およびその脳活動部位を、近赤外分光法（NIRS: Near-infrared spectroscopy）による脳血流動態の計測から調査し、腹部への被服圧に対する着心地評価における、脳活動の計測に適した部位を大局的に把握することを目指す。

これまで脳活動を多チャンネルで広範囲にわたり計測し、その局在性について調査した事例は希少である。また、NIRS による脳血流動態の計測から着心地を評価した研究も少ない[101]。脳波は神経の情報伝達に伴う電氣的活動を計測するものであるのに対し、NIRS は脳活動を支えるエネルギー供給をヘモグロビンの変化量から計測するものである[102-104]。脳波、NIRS は fMRI や PET 等よりも計測時の自由度が高く被験者への負担も比較的少ない。また NIRS は脳波に比べ空間分解能が高いことから[105]、本章の実験では NIRS による脳活動の調査を行った。さらに、被服圧が人体に与える影響を多方面から総合的に評価するために、NIRS を用いた中枢神経系への評価だけではなく、これまでの先行研究で実績のある自律神経活動からの評価（心電図、皮膚血流）と自覚の程度に対する評価（官能検査）も行った。

## 5.2. 実験方法

測定項目は NIRS、心電図、皮膚血流、官能検査とし、被験者は健常な成人 10 名(男性 5 名[年齢  $30 \pm 11$  歳, 胴囲  $82.6 \pm 12.1$ cm, BMI  $23.6 \pm 3.9$ ], 女性 5 名[年齢  $35 \pm 13$  歳, 胴囲  $69.4 \pm 4.3$ cm, BMI  $21.7 \pm 1.9$ ])であった。被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした。実験室の温湿度条件は、温熱

中立環境の 25℃, 60%R.H.とした。

実験の条件として設定した被服圧は、前章までの実験と同様、日常生活における圧迫を想定し、幅 4cm の非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した。圧迫の負荷を被験者ごとに均一とするため、被験者の胴囲に対してベルト長を 10%短くすることで被験者の腹部に被服圧を加えた。

実験プロトコルを図 5-1 に示す。安静 20 秒間、圧迫 120 秒間、再安静 20 秒間を 1 セットとしてこれを 3 セット繰り返して行った。実験は図 5-2 に示すように、着座姿勢で圧迫部位を見ることなく実験室壁面の固視点を見ている状態で行った。実験中の呼吸は、胸式呼吸とし一定のリズムを心がけるよう被験者に指示し、ため息等の呼吸の変化を禁じた。

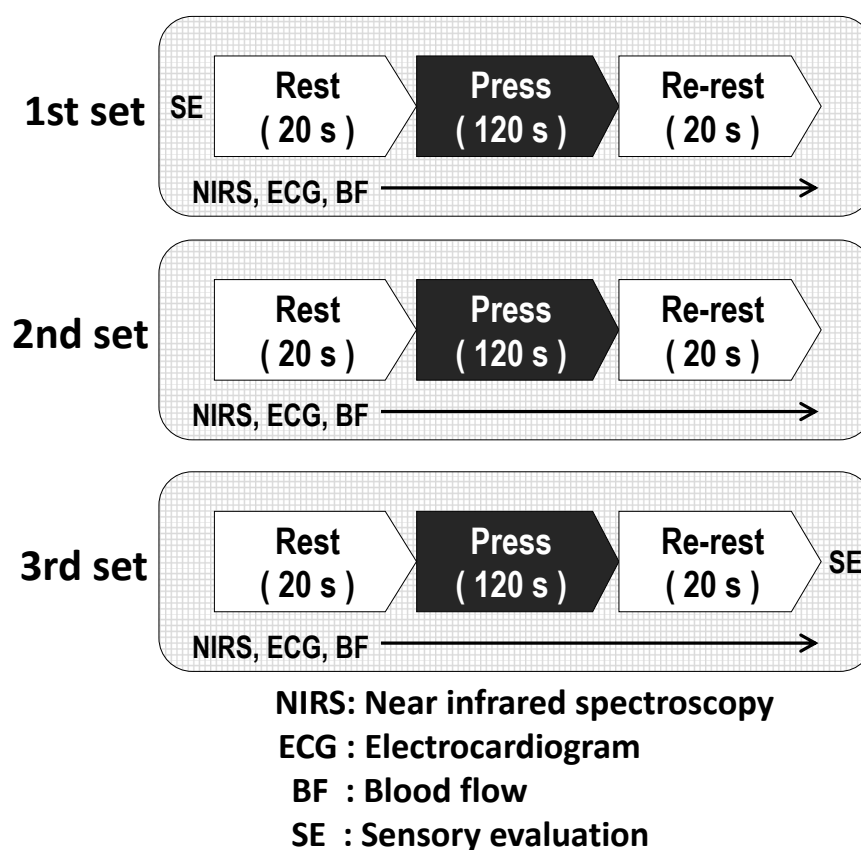


図 5-1 実験プロトコル

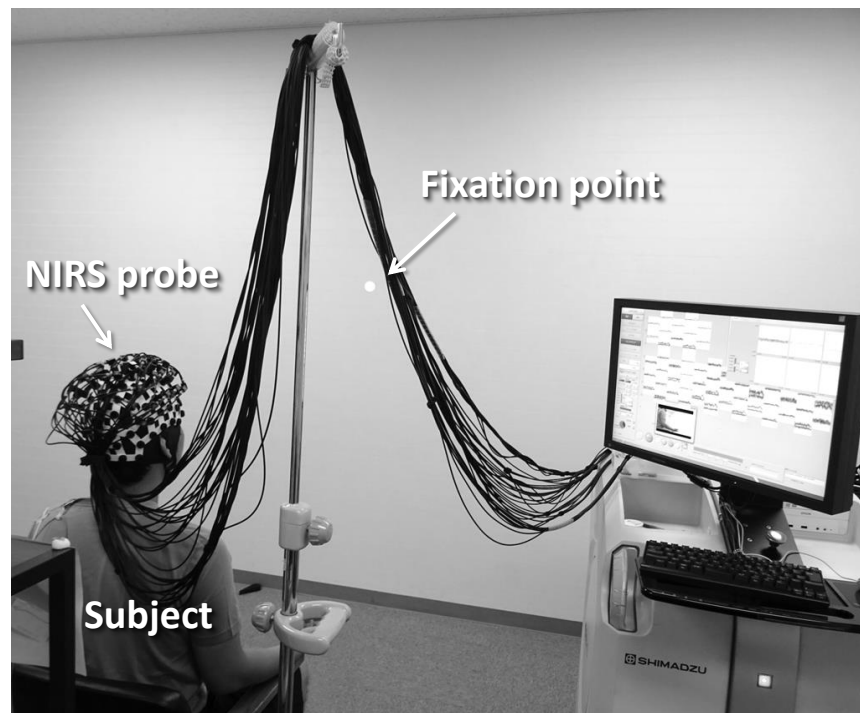


図 5-2 実験の様子

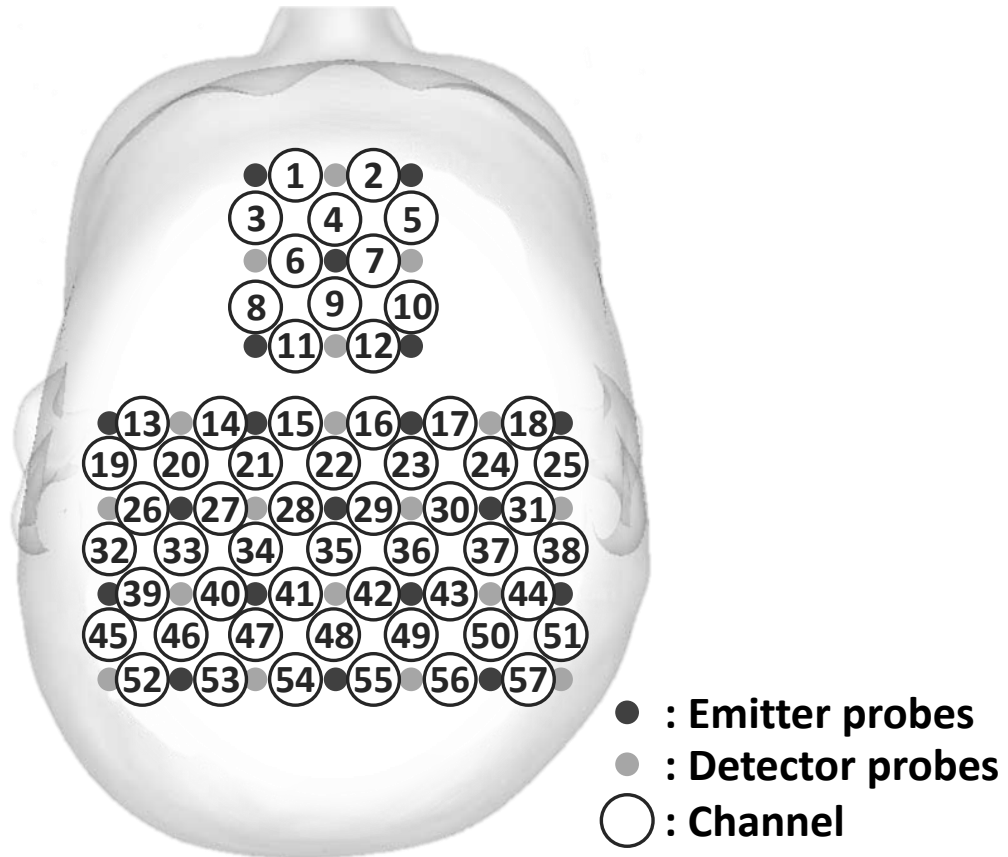
NIRS の計測には、LABNIRS（株式会社島津製作所製）を使用した。近赤外光の照射・受光プローブが、3cm 間隔に配された全頭用ホルダを用い、図 5-3 に示す合計 57 チャンネルで計測した。国際標準 10-20 電極配置法による Cz の位置に 35ch を配するようプローブを装着した。データ採取間隔は 45ms とした。

NIRS の計測から、脳神経細胞が活動する際に必要な酸素を運ぶ酸素化ヘモグロビン濃度変化量（ $\Delta\text{Oxy-Hb}$ : oxygenated hemoglobin）、酸素分子が神経細胞へ移動し酸素分子が離れた脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量（ $\Delta\text{Deoxy-Hb}$ : deoxygenated hemoglobin）、その両方の和である総ヘモグロビン濃度変化量（ $\Delta\text{Total-Hb}$ : total hemoglobin）が得られる。 $\Delta\text{Oxy-Hb}$ 、 $\Delta\text{Deoxy-Hb}$ 、 $\Delta\text{Total-Hb}$  のうち、 $\Delta\text{Oxy-Hb}$  は脳血流量の変化を示す最も感度の高い指標であるという報告[106]から、本研究では $\Delta\text{Oxy-Hb}$  を解析対象とした。頭部に配置した照射・受光プローブから得られる $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の 3 セット分のデータを各チャンネルで加算平均し、0.1Hz のローパスフィルタをかけ、安静状態の 2 秒後

から 5 秒後までの 3 秒間の平均値を 0 とする基準化を行った。安静状態の 5 秒後から 10 秒後までの平均値と、圧迫状態 120 秒間に対して 5 秒間毎の平均値を算出した。これらの差異を確認するため、統計解析ソフト（Excel 統計 2010 社会情報サービス社製）を用いてクラスカル・ウォリス検定を行った。多重比較には、Steel の両側検定を行った。有意水準は  $p < 0.05$  とした。

また、本章では脳活動を巨視的に捉え考察するために、これまでの脳科学の知見である機能局在論を参考に 57 チャンネルを領域毎に分けて同様の解析を行った。前頭前野、運動前野、運動野、体性感覚野、体性感覚連合野の領域における脳活動の傾向をつかむことを目的に、全 57 チャンネルを 6 領域：A, B, C, D, E, F（図 5-4 参照）に分け、領域毎にチャンネルの加算平均を求め上述と同様の解析を行った。領域 A は、前頭前野付近の[1ch, 2ch, 3ch, 4ch, 5ch, 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 10ch, 11ch, 12ch]、領域 B は、左半球の運動前野、運動野、体性感覚野の外側溝寄りの[13ch, 19ch, 26ch, 32ch, 39ch]、領域 C は、右半球の運動前野、運動野、体性感覚野の外側溝寄りの[18ch, 25ch, 31ch, 38ch, 44ch]、領域 D は、運動前野付近の[14ch, 15ch, 16ch, 17ch, 20ch, 21ch, 22ch, 23ch, 24ch]、領域 E は、運動野および体性感覚野付近の[27ch, 28ch, 29ch, 30ch, 33ch, 34ch, 35ch, 36ch, 37ch, 40ch, 41ch, 42ch, 43ch]、領域 F は、体性感覚連合野付近の[45ch, 46ch, 47ch, 48ch, 49ch, 50ch, 51ch, 52ch, 53ch, 54ch, 55ch, 56ch, 57ch]とした。

**< Front >**



**< Back >**

図 5-3 頭上から見た NIRS 計測チャンネル



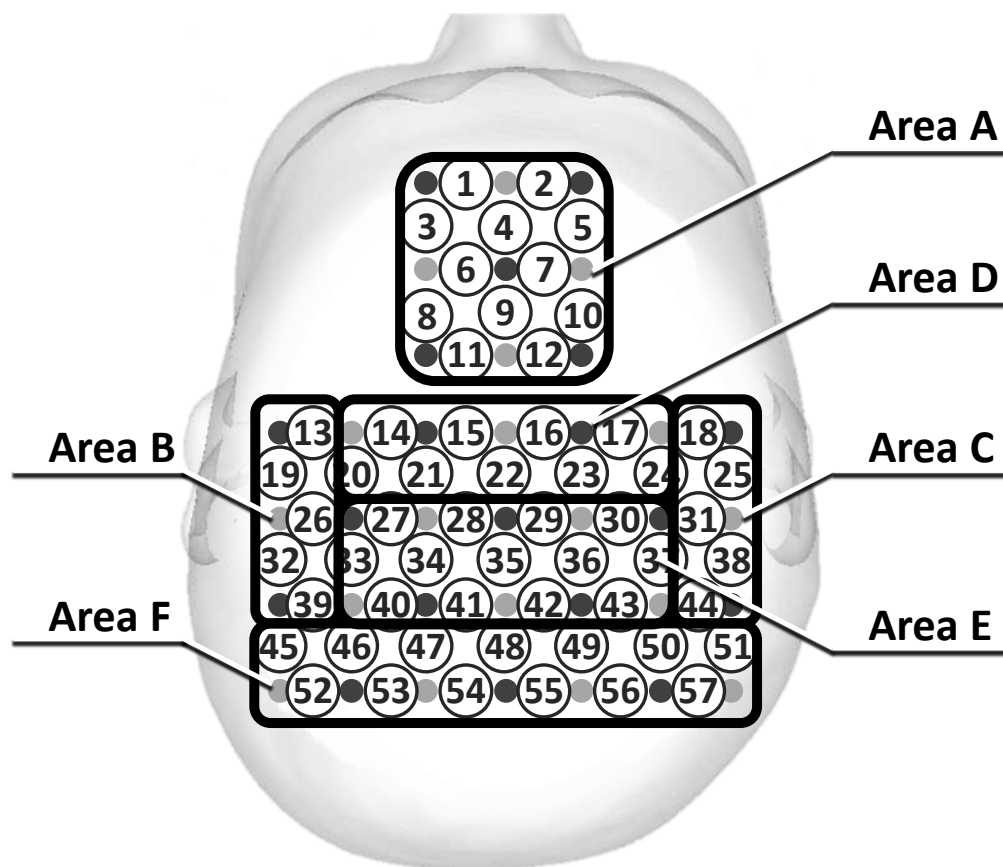


図 5-4 NIRS 計測チャンネルの統合領域

心電図 (ECG100C, MP150/ BIOPAC SYSTEMS 社製) は胸部双極誘導によって導出された。皮膚血流はレーザードップラー血流計 (LDF100C, MP150/ BIOPAC SYSTEMS 社製) を用いて左手第二指末節にセンサを装着して計測した。心電図, 皮膚血流ともにサンプリング周波数は 2000Hz とし, 計測の制御およびデータの取り込みはノート型コンピュータを用い, データ採取ツール Acqknowledge (BIOPAC SYSTEMS 社製) で行った。

心電図は, 得られた波形から R 波のピーク検出を行い, R-R 間隔を求めた。その R-R 間隔から瞬時心拍数を求めた。安静 20 秒間, 圧迫 120 秒間について 3 セット分の平均値を算出した。皮膚血流は, 安静 20 秒間, 圧迫 120 秒間について 3 セット分の平均値を算出した。官能検査は, 腹部の快適感 (快適 - 不快), 腹部の圧迫感 (圧迫感がある - 圧迫感がない), 覚醒感 (眠くない - 眠い) について, 「非常に・とても・やや・どちらともいえない」の 7 段階評価(+3 - -3)で実施した。実験開始直前に安静状態について, 実験終了直後に圧迫状態について調査した。心電図, 皮膚血流, 官能検査の統計解析は, ウィルコクソンの符号順位和検定により安静時と圧迫時の有意差検定を行った。

### 5.3. 結果

NIRS の計測より得られた全 57 チャンネル分の  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の解析結果を図 5-5 に示す. 各 57 チャンネルのグラフの x 軸は時間を示しており, 圧迫前の安静状態 5 秒間と圧迫状態 120 秒間における 5 秒間毎の  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の平均値をプロットしている. y 軸は  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  を示しており, 値が 0 よりも正の方向に高くなるほど神経細胞の活動つまり脳活動の賦活をあらわしている. 男性被験者 1 名の 30ch が測定エラーであったため除外し, 30ch は 9 名分, その他は 10 名分の平均値である. 34ch, 36ch では標準偏差が他のチャンネルに比べて大きい, これは個人差を反映したものである. 太枠で記した 2ch, 3ch, 6ch, 8ch, 9ch, 24ch, 25ch, 26ch, 27ch, 31ch, 38ch, 42ch, 43ch, 44ch, 51ch において,  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の値は安静時に比べ圧迫時に有意な増加が認められた.

前頭前野, 運動前野, 運動野, 体性感覚野, 体性感覚連合野の領域における脳活動の傾向をつかむために, 全 57 チャンネルを 6 領域: A, B, C, D, E, F に分け, 領域毎にチャンネルの加算平均を求めた結果を図 5-6 に示す. 領域 A, C, E において,  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の値は安静時に比べ圧迫時に有意な増加が認められた.

本実験における  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の有意な変化が見られた部位は, 脳の右半球と左半球において全て左右対称という結果ではなかった. 脳の右半球と左半球の違いについて, 脳の神経線維をつなぐシナプスのタンパク質分子レベルでの構造的非対称性[107], 交感神経活動と副交感神経活動のそれぞれの制御に関わる大脳偏側性[108], ポジティブ感情とネガティブ感情に対する大脳賦活パターンの偏側性[109]などの報告がある. 本実験においても, 腹部への圧迫刺激に対する何らかの脳の偏側性があらわれた可能性があるが, 今回の結果に対する右半球と左半球の偏側性の言及は, 今後の脳科学の解明を待って慎重に行いたいと考える.

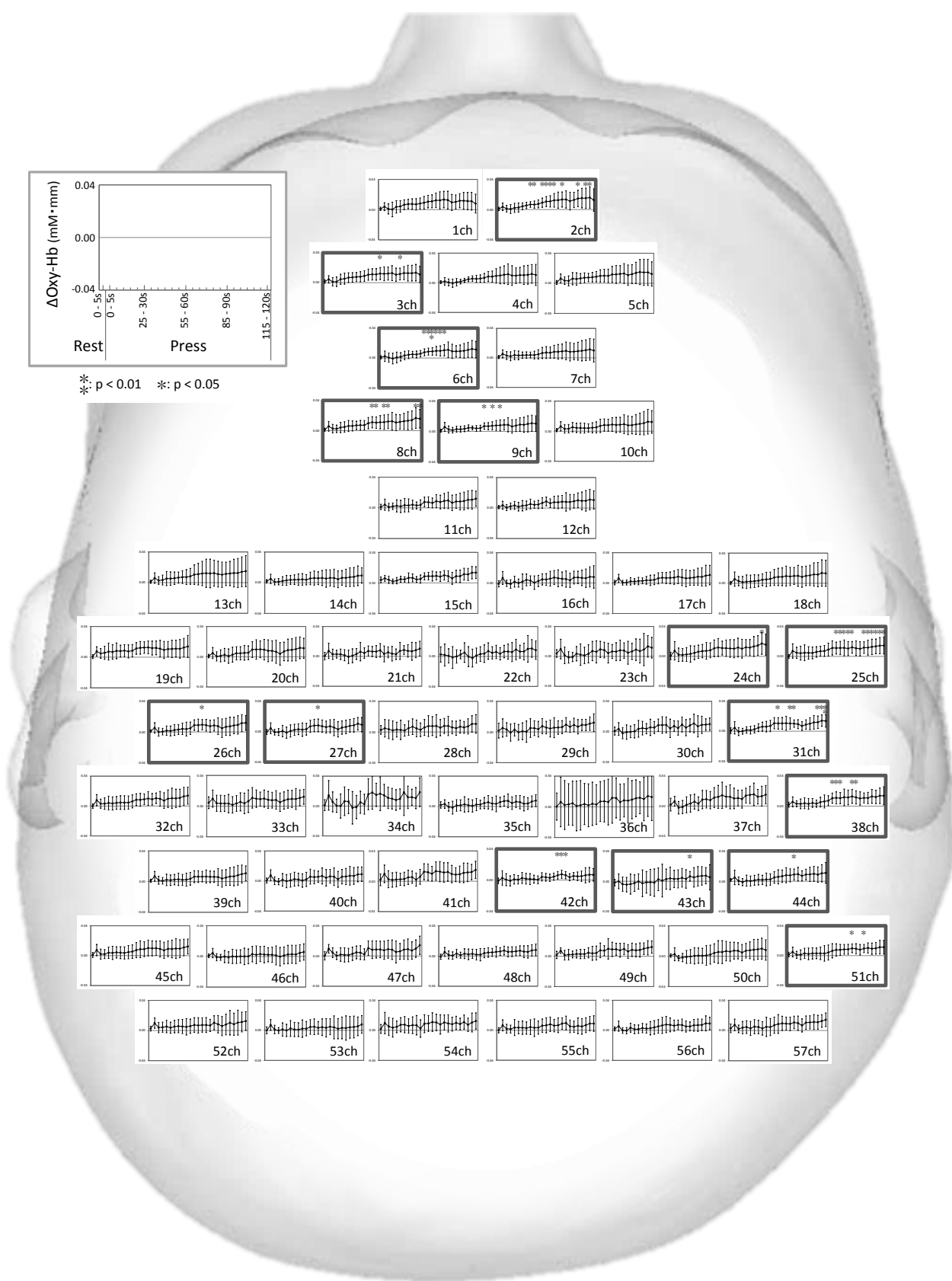


図 5-5 NIRS による  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の結果 (全 57 チャンネル)

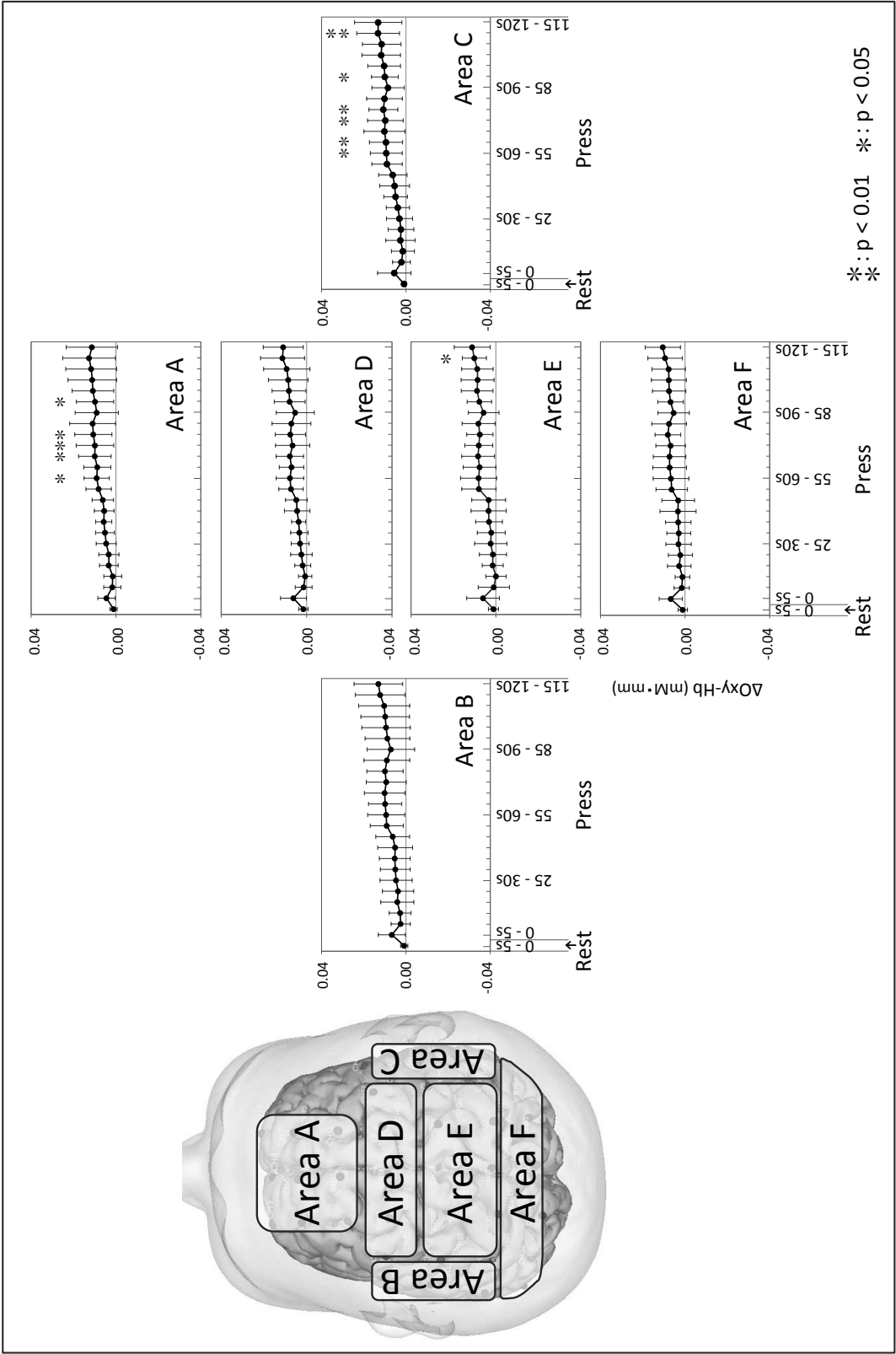


図 5-6 NIRS による  $\Delta\text{Oxy-Hb}$  の結果 (領域毎)

図 5-7 に瞬時心拍数の結果を，図 5-8 に左手第二指末節で計測した皮膚血流の結果を示す．ウエストベルトによる腹部圧迫が加わることで，瞬時心拍数は有意に減少し，皮膚血流は有意に増加した．瞬時心拍数が減少し，末梢皮膚血流が増加したことから，腹部への被服圧が副交感神経活動優位な状態にさせたと考えられる．この自律神経活動の反応は前章までの実験結果と一致するものであり，腹部に被服圧が加わった場合に見られ，動脈圧受容器反射による反射性循環調節が行われたために副交感神経活動に亢進したと推察される．

図 5-9 に快適感，圧迫感，覚醒感について調査した官能検査の結果を示す．圧迫時の評価は安静時の評価に比べ，快適感が有意に減少し，圧迫感は有意に増加した．このことから被験者が，ウエストベルトによる被服圧を不快かつ圧迫感があると知覚していたことがわかる．覚醒感については，有意な変化は認められなかった．

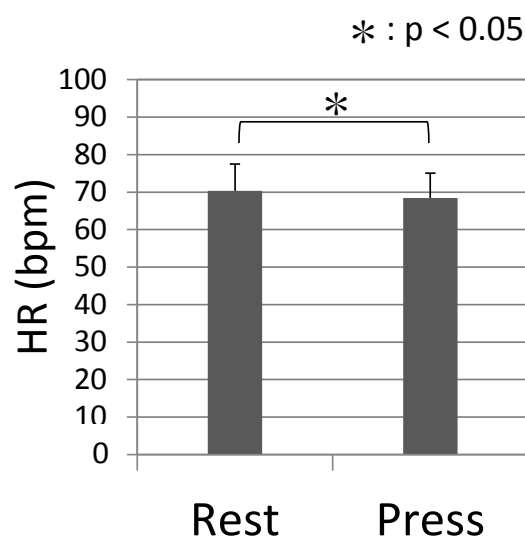


図 5-7 瞬時心拍数

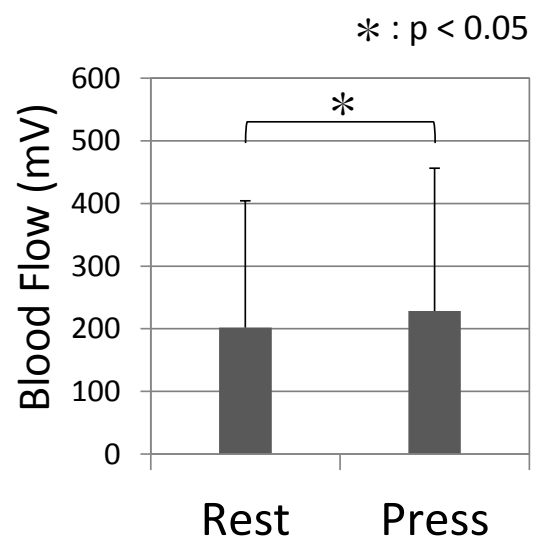


図 5-8 皮膚血流

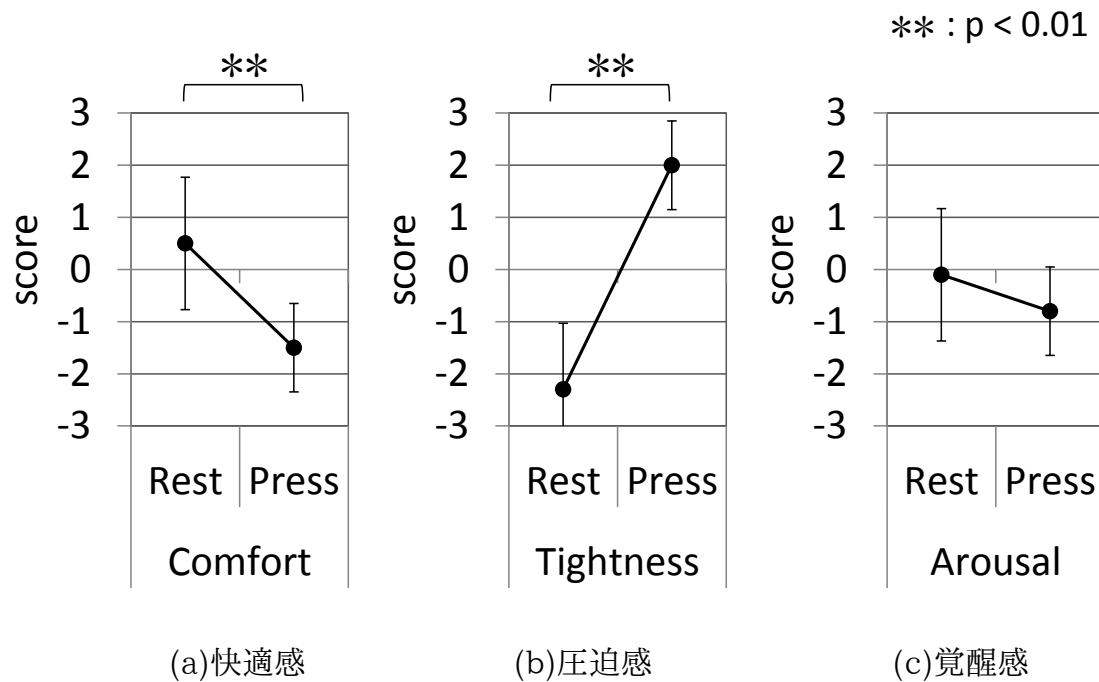


図 5-9 官能検査

#### 5.4. 考察

瞬時心拍数，皮膚血流，官能検査の結果を踏まえた上で，NIRS 計測における領域 A，C，E の有意な賦活について考察する。

まず領域 C は，運動前野，運動野，体性感覚野の外側溝寄り付近であり，Penfield と Rasmussen による感覚野の体部位局在によると体性感覚野の外側溝寄りの部分は腹腔内の感覚に対応している．瞬時心拍数と皮膚血流の結果から圧受容器反射による循環調節が行われたと推定すると，弱い被服圧ではなく，腹部の表在感覚のみならず内臓への圧迫がかかったために，領域 C が有意に賦活した可能性がある．先行研究においても，骨格に保護されていない腹腔内臓は圧迫の影響を受けやすいことや[69]，皮下脂肪が分布している圧縮可能な部分に変形を生じやすい[110]という報告がある．また，大脳の島皮質は体性感覚野の下の部分と前頭葉，側頭葉に覆われている部分で，内臓感覚，内臓運動，嗅覚，味覚，触覚などの機能に関わっている[111]．NIRS の測定深度は，頭皮から 20mm 程度の深部までが対象となっているため，島皮質における賦活を計測で

きているかは明確ではないが、活動の一端が反映した計測結果であった可能性もある。

領域 A は、前頭前野付近であり、感情表出や行動遂行機能などの高次の認知機能に関わる部位である。前頭前野の活動には、扁桃核や海馬をはじめとする快・不快の感情や記憶に関係する大脳辺縁系が影響しているとされている。従って、官能検査の結果から被験者が被服圧による不快感と圧迫感を知覚しており、その感情や行動抑制から  $\Delta$ Oxy-Hb が有意に増加したのではないかと推察する。

領域 E は、運動野および体性感覚野付近であり、運動野は骨格筋の動きの制御に関わっており、体性感覚野は体性感覚からの入力を受ける部分である。感覚野の体部位局在によると、頭頂から下へ向かって、下肢、臀部、体幹、首、頭の順に体部位局在性があることから、腹部の表在感覚、深部感覚から入力された被服圧情報がこの領域で処理されたことによる反応と推察する。

外側溝寄りの運動前野、運動野、体性感覚野付近の領域 C は、頭頂を中心とした運動野、体性感覚野付近の領域 E よりも圧迫開始から短時間で  $\Delta$ Oxy-Hb が有意に増加した。感覚野の体部位局在では、頭頂付近に体幹、外側溝寄りに腹腔内の感覚が配されている。今回の実験における圧迫条件は被験者全員がきついと自覚する比較的強い被服圧であったため、内臓感覚に対する反応がより強く出現した可能性がある。それほど高くない被服圧に対しては、頭頂を中心とした領域の方が脳活動を捉えやすいことも考えられる。

## 5.5. まとめ

本章では、多感覚統合を考慮した着心地評価手法を構築するための基礎研究という観点から、開眼状態における被服圧が中枢神経系に与える影響および脳部位毎の活動を調査するために NIRS を用いて多チャンネルで広く脳活動を計測した。

ウエストベルトによる腹部圧迫が中枢神経系に与える影響として、「前頭前野



付近（領域 A）」と「外側溝寄りの運動前野，運動野，体性感覚野付近（領域 C）」と「頭頂を中心とした運動野，体性感覚野付近（領域 E）」の脳活動の賦活が確認された．これらの結果から開眼状態での被服圧に対する着心地評価において，脳活動の計測部位を決定する基礎データの一つが得られたと考える．

## 第 6 章

### 結論

着衣快適性は被服と人が関わってはじめて発現・評価される。私たちは被服から与えられる様々な情報を、それぞれの感覚器から受け取り、脳中枢で統合することで着心地の良し悪しを感じ取っている。本論文では、着衣快適性評価手法を構築するための基礎研究として、感覚統合の観点からの着心地評価の必要性について検討するために、被服圧に対する心理生理反応について、圧覚からと視覚からの感覚情報を組み合わせることで、単一感覚と複数感覚の違い、また提示する視覚情報の内容による違いを検証した。

本章では、本論文で明らかにした知見をまとめ今後の課題について述べる。

第2章では、視覚情報を遮断した閉眼状態と、日常生活を想定した開眼状態の二つの視覚条件における、腹部圧迫に対する心理生理反応の違いを検証した。閉眼状態の評価では、時間経過に伴う脳波の $\theta$ 波の増加および心理反応の覚醒感の結果から覚醒が低下しやすいことが示された。また、閉眼状態では腹部圧迫による刺激が交感神経活動に作用するのに対し、開眼状態では副交感神経に作用し、目を開けることで目を閉じているときとは異なる生理反応を示すことが明らかとなった。これらのことから着衣快適性評価手法を考える際には、閉眼状態と開眼状態での評価はそれぞれ分けて考えるべきであり、評価対象となる被服の着用シーンを考慮した状態で評価する必要があることが示された。

また、従来から交感神経活動割合  $LF/HF$  をストレス指標として用いられることがあったが、官能検査で不快感、圧迫感を感じるストレス下にあるにも関わらず、開眼状態での評価において副交感神経活動割合  $HF/(LF+HF)$  が高くなった。これは検証実験の結果から、腹部圧迫による血圧の上昇に反応した圧受容器反射による副交感神経活動の亢進と推察された。外的環境、内的環境による変化に対して生理状態を常に一定に保とうとするホメオスタシスの観点から考えると、自律神経活動割合を用いたストレス評価の際には、一概に「交感神経活動の亢進＝ストレス状態」、「副交感神経活動の亢進＝リラックス状態」という判断ではなく、「交感神経活動の亢進＝興奮性ストレスがかかっている状態」「副交感神経活動の亢進＝抑制性ストレスがかかっている状態」という定常時

からの変動をストレスと捉える視点の重要性が明らかになった。

第3章では、輝度を変化させることによる明暗の変化というシンプルな視覚刺激と、被服圧による圧覚刺激を組み合わせることで単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの生理反応の違いを検証した。実験環境の輝度が高い場合には、脳波が速波化し、圧覚刺激を入力した場合の自律神経活動の反応が顕著に見られた。一方、輝度が低く視覚刺激が弱い場合には、脳波が徐波化し、圧覚刺激に対する自律神経活動の反応が表出しにくかった。このことから実験環境の明るさが被服圧に対する生理反応へ影響を与えていることが示された。よって着衣快適性評価における実験環境設定は、オフィス、学校、病院、工場、スポーツ施設、屋外など評価する被服の実際の着用シーンを考慮した輝度環境下で評価することが望ましいことが示唆された。また、特定の輝度環境だけで着用する被服でなければ、低輝度の暗い環境よりも、高輝度の明るい環境の方が被服圧に対する生理反応が顕著に見られることも示された。

被服圧による圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激が同時に提示された場合、提示される視覚刺激が中輝度から低輝度へ変わる実験条件では、視覚刺激よりも圧覚刺激に対する生理反応が優位に見られ、提示される視覚刺激が中輝度から高輝度へ変わる実験条件では、圧覚刺激よりも視覚刺激に対する生理反応が優位に見られた。これは、感覚の種類に絶対的な優劣があるわけではなく、多感覚情報が統合された際に感覚及び反応の処理機構にとって、より大きな刺激に対する生理反応が優位に出現したためと推察される。このことは、圧覚刺激に対する生理反応を、視覚刺激を用いることで表出させない効果があるという捉え方もでき、輝度変化を利用することで圧迫によるストレスを無自覚化させられることを示唆している。その一方で圧覚刺激に対する注意喚起をすべき状況では、視覚刺激が阻害の要因にもなり得ることが示された。

第4章では、多感覚統合による心理生理反応に関するさらなる知見を得るために、日常生活で起こり得る「ウエストベルトを締めた自身の姿を鏡で見る」、

「ウエストベルトを締めた他者を見る」という被服圧に関する情報を持つ視覚情報の提示が心理生理反応に与える影響を検証した。

ウエストベルトを締めている他者を見るだけでも、被験者自身がウエストベルトを締めている状態、あるいはその姿を鏡で見ている状態のときと類似の変化傾向が心理生理反応に見られた。このことは、被服圧に関する情報が視覚から入力された場合においても心身反応に影響を与えており、その変化の方向は圧覚から入力された場合と同じであることを示している。鏡を見ることによる視覚と圧覚からの被服圧情報の提示では、再安静時の自律神経活動の値において、安静時の値を超える反動が見られ、視覚と圧覚の複合感覚からの解放が回復を促進したことが推察された。また、鏡を見ることによる視覚と圧覚からの情報提示時の心身反応は、被服圧に関する情報を圧覚からのみ提示した場合の値と、視覚からのみ提示した場合の値の総和や平均といった単純な反応ではないことが示された。

第5章では、開眼状態での被服圧評価における脳活動の計測に適した部位を大局的に把握するために、腹部への被服圧に対する脳活動を NIRS による脳血流動態の計測を多チャンネルで広範囲にわたり行い、その局在性について調査した。

ウエストベルトによる腹部圧迫が中枢神経系に与える影響として、“前頭前野付近”と“外側溝寄りの運動前野，運動野，体性感覚野付近”と“頭頂を中心とした運動野，体性感覚野付近”の脳活動の賦活が確認され、腹部圧迫に対する知覚や認知がこれらの脳部位によって行われている可能性を得た。開眼状態での被服圧評価において、脳活動の計測部位を決定する一つの知見が得られた。

以上のことから、感覚（圧覚と視覚）を統合させることで単一感覚からの情報入力とは異なる心身反応が確認された。実環境を想定した視覚情報を伴った条件下での被服圧評価はこれからの着心地の評価研究において重要であり、感覚統合の観点からの着心地評価の必要性が示された。

本研究の成果を踏まえ、今後着心地を評価する際の環境条件として、皮膚感覚からの情報だけでなく視覚からの情報も心身に影響を与えていることを考慮し、実験室内の明るさをはじめとする視覚情報の統制も実験設定の大切な要素であると考え。また、着衣時の見た目はファッション性や嗜好性という意味だけでなく、自他共にその姿を見る人の心理生理反応に影響を与えている可能性があり、外観が着心地に与える影響等を評価することで、心身共により心地良い衣服の開発につながると考える。

本研究では生理指標として心電図、脳波、脳血流を用いた。被服圧評価における各生理指標の特徴を本研究から得られた知見を元にまとめる。心電図計測では、圧覚刺激と視覚刺激に対する自律神経活動の変化を捉えることができた。脳波計測では、圧迫に伴う脳活動の変化を精度よく捉えることはできなかったが、視覚刺激に対する脳活動の変化や覚醒状態の確認に活用できる。また、本研究の被服圧設定が高かったため計測部位を変更することで圧迫に伴う脳活動の変化を捉えられる可能性も残されている。NIRSによる脳血流計測では、圧迫に伴う脳血行動態の変化を空間的かつ経時的に捉えられ、賦活脳部位を把握することに有益な指標と言える。

今後の課題として、ベルトやシャツの色による影響、性別、体格、圧迫強度を変化させた際の心身反応の違いについて調査が望まれる。圧迫強度について本研究の実験設定では、感覚統合の観点からの着心地評価の必要性について検討することに主軸を置き、被服圧に対する着心地を解釈する際の限界点としてまずは比較的強い被服圧を採用した。着衣快適性を考える上では、至適圧の探索およびそれに対する心身反応の調査も必要である。快適な被服圧には、圧迫が加わらないことが快適という被服圧を低減する方向性のみならず、コンプレッションウェア等の積極的に被服圧を取り入れることで快適感を生み出す方向性もある。今後、人がより快適と感じる被服圧を探索するために、圧迫強度、圧迫面積、着衣時間などのパラメータを変化させ、それに対する心身反応を調査することが必要と考える。それらを調査することで、被服を着用する際あるいは着物や介護等の第三者に着付ける際の至適圧の特定や被服のゆとり量の設

計への活用が期待される。

また、本研究では圧覚と視覚を統合させることで実験を行ったが、着衣快適性評価手法の将来の展望を考えると、被服圧、温熱感、肌触り、見た目、衣擦れの音、香りなどの被服と人が関わることで発現する様々な要素を多感覚統合させたときの評価手法の検討も今後必要である。

本研究の成果が着衣快適性評価手法の構築に対する研究の一助になることを期待してここで筆を擱く。

## 参考文献



- [1] 阿部康次, 森川英明, 梶原莞爾監, 高機能性繊維の最前線—医療, 介護. ヘル  
スケアへの応用—, 株式会社シーエムシー出版, 2014
- [2] 経済産業省, 繊維産業の現状及び今後の政策展開, 2013,  
([http://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/fiber/pdf/130117seisaku.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/fiber/pdf/130117seisaku.pdf), 参照 2015-09-01)
- [3] 通商産業省生活産業局編, 新繊維ビジョン—市場創造とフロンティア拡大へ向け  
て—今後の繊維産業及びその施策の在り方 繊維工業審議会・産業構造審議会  
答申と解説, 株式会社ぎょうせい, 1995
- [4] 経済産業省製造産業局繊維課編, 繊維産業の展望と課題 技術と感性で世界に  
飛躍するために —先端素材からファッションまで—, 社団法人時事画報社, 2008
- [5] 経済産業省, 国際標準化戦略目標, 2006,  
([http://www.meti.go.jp/policy/standards\\_conformity/files/sennryakumokuhyo.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/standards_conformity/files/sennryakumokuhyo.pdf),  
参照 2015-09-01)
- [6] 田澤壽, 繊維産業に関する ISO 国際標準の世界の動向と我が国の取り組み, 繊  
維学会誌, 68(12), 357-381, 2012
- [7] 三橋卓也, 防護服国際規格と JIS 化について, 繊維製品消費科学会誌, 56(6),  
525-534, 2015
- [8] 石丸園子, 平林由果, 菅屋潤壹, スポーツウェア用編地の放熱特性, および肌離  
れ性に関する研究:第 1 報:モデル評価, 日本生理人類学会誌, 3(2), 71-76,  
1998
- [9] 平林由果, 菅屋潤壹, 鈴木一乃, 石丸園子, 西山哲成, 西村直記, スポーツウェ  
ア用編地の放熱特性, および肌離れ性に関する研究:第 2 報:運動時の体温変化  
に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, 5(1), 23-30, 2000
- [10] 菅井清美, 前川博, 触感温度に及ぼす接触熱抵抗の影響, 繊維学会誌, 60(10),  
287-292, 2004
- [11] 薩本弥生, 村山周子, 竹内正顯, 暑熱環境下の衣服内気候への肌着の吸湿性  
の効果, 熱物性, 21(4), 200-206, 2007
- [12] 楊燕, 高橋勝六, 中山晃, 富田明美, 衣服の保温性能評価指標としての人体周

- 困空気層における熱移動特性, 日本家政学会誌, 59(1), 19-28, 2008
- [13] 石井与子, 中島(上地)歩美, 平田耕造, 吸湿性の異なる肌着着用時における発汗開始前後の温熱生理反応, 日本生気象学会雑誌, 46(1), 3-11, 2009
- [14] 上前知洋, 上條正義, 皮膚近傍における温湿度変化がもたらす快適感の変動, Journal of Textile Engineering, 56(2), 55-63, 2010
- [15] 諸岡晴美, 和田猛, 中橋美幸, 発汗歩行サーマルマネキンを用いた着衣の温熱的快適性評価, 熱物性, 27(4), 157-163, 2015
- [16] 原田隆司, 斎藤実, 松尾達樹, 風合いに関する研究, 繊維機械学会論文集, 24(7-8), T126-T138, 1971
- [17] 川端季雄, 風合いの計測システム, 繊維と工業, 5(5), 277-285, 1972
- [18] 小林茂雄, 風合いの評価法, 繊維機械学会誌, 26(2), 88-94, 1973
- [19] 原田隆司, 斎藤実, 堤淳美, 松尾達樹, 官能検査法を利用した布の風合い計測法と杭毛織物での有効性の検証, 繊維機械学会誌, 48(10), T244-T251, 1995
- [20] 天野敏彦, 前中由子, 北浦多栄子, 小原和幸, 質的なデータを用いた布の風合い評価, 繊維学会誌, 56(1), 1-5, 2000
- [21] 高寺政行, 国広聡子, 矢崎美彦, 大竹敦, 清水義雄, 綿タオルの触感と力学特性, 感性工学研究論文集, 5(3), 103-110, 2005
- [22] 李受玟, 上條正義, 西松豊典, 清水義雄, 加速度センサを用いた布の風合い評価時における指先動作の計測, 繊維機械学会誌, 58(8), T101-T108, 2005
- [23] 権義哲, 上條正義, 吉田宏昭, 高寺政行, 3軸力覚センサを用いたムーソンの毛込み感評価方法に関する研究, Journal of Textile Engineering, 57(5), 123-129, 2011
- [24] 中島健一, 木下晴夫, 三浦幹彦, 薄地織物および厚地織物の官能検査の分析と風合い値との比較, 蚕糸・昆虫バイオテック, 80(1), 53-58, 2011
- [25] 西松豊典, 金井博幸, 藤原恵, 高橋恭平, 岸根延幸, 藤田初芽, 古田麻子, 升川綾子, バスタオルの「触感」と物理特性との関係, Journal of Textile Engineering, 60(6), 91-98, 2014
- [26] 山田智子, 高梨有里子, 伊藤紀子, タイツの着用感を決定する要因と快適被服

- 圧, 日本家政学会誌, 52(9), 855-863, 2001
- [27]伊藤紀子, 小竹美香, 山藤利加, 山田智子, 女性用肌着の圧迫感におよぼす平均被服圧の影響, 日本家政学会誌, 52(9), 865-873, 2001
- [28]Chan A. P., and Fan J., Effect of Clothing Pressure on the Tightness Sensation of Girdles, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 14(2), 100-110, 2002
- [29]道明伸幸, 内田洋子, 末広祥二, 島村薫, 動的衣服シミュレーションを利用した衣服の身体適合性の評価, 繊維機械学会誌, 58(2), T21-T28, 2005
- [30]石垣理子, 猪又美栄子, 筋電図による着脱時の動作適応性評価, 日本家政学会誌, 58(9), 569-577, 2007
- [31]下坂知加, 石垣理子, 猪又美栄子, 若年者と高齢者の衣服の動作適応性評価, 日本家政学会誌, 59(12), 989-998, 2008
- [32]石丸園子, 磯貝悠美子, 松井まり子, 古市謙次, 野々村千里, 横山敦士, 有限要素法を用いた快適な衣服圧を示す衣服の設計手法について, *Journal of Textile Engineering*, 57(3), 75-88, 2011
- [33]Wang L., Chen D., and Lin B., Effects of Side Strap and Elastic Hems of Bra Materials on Clothing Pressure Comfort, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 4(2), 187-198, 2011
- [34]百田裕子, 間壁治子, 三野たまき, 上田一夫, 紳士用靴下の衣服圧について, 繊維製品消費科学会誌, 34(4), 175-186, 1993
- [35]百田裕子, 間壁治子, 三野たまき, 上田一夫, 成人女子用ハイソックスの衣服圧について, 繊維製品消費科学会誌, 34(11), 603-614, 1993
- [36]伊藤紀子, 竹田美枝子, パンティストッキングの快適性と被服圧について, 日本家政学会誌, 45(4), 311-322, 1994
- [37]嶋根歌子, 肩部負荷が歩行姿勢に与える影響, 繊維製品消費科学会誌, 42(5), 312-316, 2001
- [38]下坂知加, 石垣理子, 猪又美栄子, 衣服重量が若年者と高齢者の頸肩腕負担に与える影響, 日本家政学会誌, 60(6), 569-577, 2009

- [39]佐々木和也, 宮下和弘, 枝村正芳, 古川貴雄, 清水義雄, 清水裕子, 官能検査と動的被服圧測定によるファンデーションの快適性評価, 繊維製品消費科学会誌, 38(2), 109-114, 1997
- [40]諸岡晴美, 中橋美幸, 諸岡英雄, 脚部の圧縮特性とパンティストッキングの圧迫における年齢差, 繊維製品消費科学会誌, 38(6), 324-332, 1997
- [41]清水裕子, 戸塚歌子, 清水義雄, 動作時のスラックスの被服圧変化第1報被服圧分布の動的測定, 繊維学会誌, 44(10), 502-510, 1988
- [42]諸岡晴美, 中橋美幸, 諸岡英雄, 北村潔和, 体幹部の圧迫が心拍数, 血圧, 皮膚血流量および呼吸機能に及ぼす影響, 繊維機械学会誌, 54(2), 57-62, 2001
- [43]川秀子, 諸岡晴美, 北村潔和, 諸岡英雄, 下肢各部の局所的圧迫が皮膚血流量に及ぼす影響-サポートパンティストッキングの設計指針を得るための試み-, 繊維製品消費科学会誌, 36(7), 491-494, 1995
- [44]中橋美幸, 諸岡晴美, 諸岡英雄, 下腿部周径上の加圧割合が皮膚血流量に及ぼす影響, 繊維製品消費科学会誌, 39(6), 392-397, 1998
- [45]Okura K., Midorikawa-Tsurutani T., and Tokura H., Effects of Skin Pressure Applied by Cuffs on Resting Salivary Secretion, Journal of physiological anthropology and applied human science, 19(2), 107-111, 2000
- [46]Takasu N., Furuoka S., Inatsugi N., Rutkowska D., and Tokura H., the Effects of Skin Pressure by Clothing on Whole Gut Transit Time and Amount of Feces, Journal of physiological anthropology and applied human science, 19(3), 151-156, 2000
- [47]Sone Y., Kato N., Kojima Y., Takasu N., and Tokura H., Effects of Skin Pressure by Clothing on Digestion and Orocecal Transit Time of Food, Journal of Physiological anthropology and applied human science, 19(3), 157-163, 2000
- [48]Lee Y. A., Kikufuji N., and Tokura H., Field Studies on Inhibitory Influence of Skin Pressure Exerted by a Body Compensatory Brassiere on the Amount of Feces, Journal of physiological anthropology and applied human science, 19(4), 191-194, 2000

- [49] 早田剛, 三浦隆, 岩寄徹治, 宮地元彦, 段階的弾性ストッキング着用による下腿圧増加が下腿静脈コンプライアンスを増加させる, 体力科学, 55(4), 421-428, 2006
- [50] Moseley A. L., Carati C. J., and Piller N. B., a Systematic Review of Common Conservative Therapies for Arm Lymphoedema Secondary to Breast Cancer Treatment, *Annals of Oncology*, 18(4), 639-646, 2007
- [51] 柏智之, 明崎禎輝, 野村卓生, 田岡理佳子, 加藤正広, 中村久子, 佐藤厚, 女性勤労者における下肢浮腫改善に対する弾力性ストッキングの有用性, 理学療法科学, 25(3), 443-446, 2010
- [52] 山中康裕, 姿勢を意識するインナー「シセイスト」の開発, 繊維製品消費科学会誌, 48(6), 378-382, 2007
- [53] 辻創, 金井博幸, 西松豊典, 体幹部への印加圧力に対する触知覚の測定, 感性工学研究論文集, 7(4), 815-820, 2008
- [54] 角奈那子, 落合理子, 勝眞理, 西脇剛史, 衣服圧が骨盤前後傾角度に及ぼす影響, 繊維製品消費科学, 53(1), 51-56, 2012
- [55] Doan B., Kwon YH., Newton R., Shim J., Popper E., Rogers R., Bolt L., Robertson M. and Kraemer W., Evaluation of a Lower-body Compression Garment, *Journal of Sports Sciences*, 21(8), 601-610, 2003
- [56] 野阪美貴子, 諸岡晴美, 鳥海清司, 諸岡英雄, 筋電位測定による筋疲労軽減タイプ弾力靴下の衣服圧設計, *Journal of Textile Engineering*, 52(5), 205-210, 2006
- [57] 中橋美幸, 諸岡晴美, 鳥海清司, 北村潔和, 野阪美貴子, テーピング機能をもつ弾性タイツの開発, *Journal of Textile Engineering*, 52(6), 237-242, 2006
- [58] Scanlan A. T., Dascombe B. J., Reaburn P. R., and Osborne M., the Effects of Wearing Lower-body Compression Garments during Endurance Cycling, *Int J Sports Physiol Perform*, 3(4), 424-438, 2008
- [59] Jakeman J. R., Byrne C., and Eston R. G., Lower Limb Compression Garment Improves Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage in Young, Active

- Females, *European journal of applied physiology*, 109(6), 1137-1144, 2010
- [60] Bottaro M., Martorelli S., and Vilaça J., Neuromuscular Compression Garments: Effects on Neuromuscular Strength and Recovery, *Journal of human kinetics*, 29(Special Issue), 27-31, 2011
- [61] 独立行政法人国民生活センター, 加圧を利用したスパッツの使い方に注意!, 2011 ([http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20110408\\_1.pdf](http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20110408_1.pdf), 参照 2015-09-01)
- [62] 西脇剛史, コンプレッションウェアの発現機能と評価技術, *繊維機械学会誌*, 66(1), 43-47, 2013
- [63] 三野たまき, 後藤亮子, 上田一夫, 手の皮膚温に及ぼす腹部圧迫刺激の影響, *繊維学会誌*, 54(10), 555-561, 1998
- [64] 川端博子, 山本泉, 酒井豊子, 石川欣造, 衣服の拘束性に関する研究-上腕圧迫時の血流および皮膚温への影響について-, *日本家政学会誌*, 40(9), 831-835, 1989
- [65] 横井亮子, 吉田美奈子, 笹川栄子, 平田耕造, ガードルの圧迫が身体に及ぼす影響について, *繊維製品消費科学会誌*, 47(9), 537-547, 2006
- [66] 石丸園子, 中村美穂, 野々村千里, 横山敦士, 人体への加圧部位の違いが心理・生理特性に及ぼす影響, *人間工学*, 46(5), 325-335, 2010
- [67] 杉田明子, 岡部和代, 木岡悦子, 中高年女性におけるガードル着用効果と快適性-心拍数・皮膚温及び脳波の早期応答から-, *繊維製品消費科学会誌*, 43(6), 365-376, 2002
- [68] 岡田宣子, 衣服圧の生体に及ぼす影響-体性感覚誘発電位を指標として-, *繊維製品消費科学*, 36(1), 138-145, 1995
- [69] 渡辺ミチ, 田村照子, 衣服圧が身体に及ぼす影響(第3報)-軀幹部衣服圧と内臓の変位変形について-, *家政学雑誌*, 27(1), 44-50, 1976
- [70] 三野たまき, 上田一夫, 唾液分泌活動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-, *日本家政学会誌*, 49(10), 1131-1138, 1998
- [71] Botvinick M., and Cohen J., Rubber Hands 'Feel' Touch that Eyes See, *Nature*,

- 391(6669), 756-756, 1998
- [72] Kennett S., Taylor-Clarke M., and Haggard P., Noninformative Vision Improves the Spatial Resolution of Touch in Humans, *Current Biology*, 11(15), 1188-1191, 2001
- [73] 熊崎晶規, 寺田和憲, 伊藤昭, 触運動による長さ知覚における視覚の役割, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(328), 1-6, 2006
- [74] 上田祥行, 齋木潤, 触覚刺激が視知覚に与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(332), 33-37, 2007
- [75] Gentile G., Petkova V. I., and Ehrsson H. H., Integration of Visual and Tactile Signals from the Hand in the Human Brain: an FMRI Study, *Journal of Neurophysiology*, 105(2), 910-922, 2011
- [76] 岡村友俊, 感覚統合における視・聴・触覚の重要度, 日本感性工学会論文誌, 11(3), 503-507, 2012
- [77] 山口穂高, 吉田宏昭, 上條正義, 鉄道車両のシート色が座り心地に与える影響-緑系統および青系統における印象評価-, 日本感性工学会論文誌, 14(2), 291-297, 2015
- [78] McGurk H. and Macdonald J., Hearing Lips and Seeing Voices, *Nature*, 264, 746-748, 1976
- [79] 西松豊典, 酒井哲也, パイル織物の風合い評価における視覚の影響の有意性について, 繊維学会誌, 43(4), 211-217, 1987
- [80] 西松豊典, 酒井哲也, 視覚と“風合い”, 繊維学会誌, 46(6), 265-270, 1990
- [81] 小林茂雄, 富塚美恵, 布の風合い評価における触・視覚の相互関係, 繊維学会誌, 46(6), 251-257, 1990
- [82] 田中由佳理, 鋤柄佐千子, 布のしっとり感評価に及ぼす視覚と触覚の影響, 繊維学会誌, 66(1), 7-14, 2010
- [83] 坂井建雄, 河原克雅編, 人体の正常構造と機能全 10 巻縮刷版, 日本医事新報社, 2009
- [84] 泰羅雅登, 中村克樹訳, 第 4 刷カールソン神経科学テキスト-脳と行動-, 丸善出

版株式会社, 2013

- [85]Horiba Y., Kamijo M., Sadoyama T., Shimizu Y., Sasaki K. and Shimizu H.,  
Effect on Brain Activity of Clothing Pressure by Waist Belts, Kansei Engineering  
International, 2(1), 1-8, 2000
- [86]人間工学教育研究会編, 人間工学入門, 日刊工業新聞社, 1983
- [87]日本生理人類学会計測研究部会編, 人間科学計測ハンドブック, 技報堂出版,  
1998
- [88]大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正編, 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック  
Part2, 株式会社誠信書房, 2013
- [89]Sayers B.M., Analysis of Heart Rate Variability, Ergonomics, 16(1), 17-32,  
1973
- [90]Weeler T. and Watkins P.J., Cardiac Denervation in Diabetes, BMJ, 4, 584-586,  
1973
- [91]Pomeranz B., Macaulay R.J.B., Caudill M.A., Kutz I., Adam D., Gordon D.,  
Kilborn K.M., Barger A.C., Shannon D.C., Chen R.J. and Benson H.,  
Assessment of Autonomic Function in Humans by Heart Rate Spectral Analysis,  
American Physiological Society, 248, H151-H153, 1985
- [92]Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Rimoldi O., Furlan R., Pizzinelli P.,  
Sandorone G., Malfatto G., Dell'Orto S., Piccaluga E., Turiel M., Baselli  
G., Cerutti S. and Malliani A., Power Spectral Analysis of Heart Rate and  
Arterial Pressure Variabilities as a Marker of Sympathovagainteraction in Man and  
Conscious Dog, Circ Res, 59, 178-193, 1986
- [93]早野順一郎, ホルター心電図処理による自律神経活動の分析とその臨床応用,  
BME, 7(2), 38-47, 1993
- [94]Sloan R.P., Shapiro P.A., Bagiella E., Gorman J. M. and Bigger JR. J.T.,  
Temporal Stability of Heart Period Variability During Resting Baseline and in  
Response to Psychological Challenge, Psychophysiology, 32(2), 191-196, 1995
- [95]Pizalis M.V., Mastropasqua F., Massari F., Forleo C., Maggio M.D.,



- Passantino A., Colombo R., Biase M.D. and Rizzon P, Short-and Long-term Reproducibility of Time and Frequency Domain Heart Rate Variability Measurements in Normal Subjects, *Cardiovasc Res*, 32, 226-233, 1996
- [96] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野太海, 心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の解釈, *BME*, 11(1), 75-85, 1997
- [97] 水野康文, 横山清子, 岡田暁宜, 早野順一郎, 心電図 R-R 間隔による二輪車・四輪車長距離運転における生体負担度の比較, *医用電子と生体工学*, 36(2), 87-93, 1998
- [98] 大谷和則, 木竜徹, 斎藤義明, 時間周波数解析による周期運動時心拍変動の自律神経系成分の抽出, *電子情報通信学会論文誌*, J81-D-2(2), 429-436, 1998
- [99] 井上清子, 自律神経活動と覚醒度の変化との関係について-心拍数パワースペクトル解析と脳波の  $\alpha$  波振幅変化率を指標として-, *臨床神経生理学*, 28(3), 246-253, 2000
- [100] 雙田珠己, 鳴海多恵子, 心拍変動スペクトル解析を用いた着衣動作における身体的・精神的負担の評価-脳性マヒによる運動障害がある人の事例-, *日本家政学会誌*, 58(2), 91-98, 2007
- [101] 須田理恵, 田村照子, 肌着の触感評価法における心拍変動解析と近赤外線分光分析法 (NIRS) の有効性に関する検討, *文化学園大学紀要服装学・造形学研究*, 46, 59-66, 2015
- [102] 福田正人著編, 精神疾患と NIRS-光トポグラフィー検査による脳機能イメージング, 中山書店, 2009
- [103] 福田正人監, 心の健康に光トポグラフィー検査を応用する会編, NIRS 波形の臨床判読-先進医療「うつ症状の光トポグラフィー検査」ガイドブック, 中山書店, 2011
- [104] 酒谷薫監, 岡田英史, 星詳子, 宮井一郎, 渡辺英寿編, NIRS-基礎と臨床, 新興医学出版社, 2012
- [105] Nicolas-Alonso L. F., and Gomez-Gil J., Brain computer interfaces, a review, *Sensors*, 12(2), 1211-1279, 2012

- [106] Hoshi Y., Kobayashi N. and Tamura M., Interpretation of Near-infrared spectroscopy Signals: a Study with a Newly Developed Perfused Rat Brain Model, American Physiological Society, 90, 1657-1662, 2001
- [107] Kawakami R., Shinohara Y., Kato Y., Sugiyama H., Shigemoto R. and Ito I., Asymmetrical Allocation of NMDA Receptor  $\epsilon$  2 Subunits in Hippocampal Circuitry, Science, 300(5621), 990-994, 2003
- [108] Wittling W., Block A., Genzel S. and Schweiger E., Hemisphere Asymmetry in Parasympathetic Control of the Heart, Neuropsychologia, 36(5), 461-468, 1998
- [109] Davidson R.J., Anterior Cerebral Asymmetry and the Nature of Emotion, Brain and Cognition, 20(1), 125-151, 1992
- [110] 岡田宣子, 胴部圧迫時の衣服圧と圧迫感覚値との関係, 繊維製品消費科学, 36(1), 146-153, 1995
- [111] Nagai M., Kishi K. and Kato S., Insular Cortex and Neuropsychiatric Disorders: a Review of Recent Literature, European Psychiatry, 22(6), 387-394, 2007

## 付録

## ＜付録＞ 圧迫率と被服圧の関係

実験環境：温度 25℃，湿度 60%R.H.

被 験 者：健常な成人女性 5 名

(年齢  $23 \pm 3$  歳，胴囲  $63.7 \pm 1.6$ cm，BMI  $18.5 \pm 1.1$ )

基本着衣：下着，Tシャツ，ハーフパンツ

被 服 圧：幅 4cm の非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫.

被験者の胴囲に対してベルト長を 2, 4, 6, 8, 10%短くする 5 条件.

計測項目：ウエストベルト下左脇腹における圧力計測

(接触圧測定器 AMI3037-2，株式会社エイエムアイ・テクノ製)

実験方法：開眼着座状態で被服圧を 2 分間加えたときの圧力を計測.

結 果：

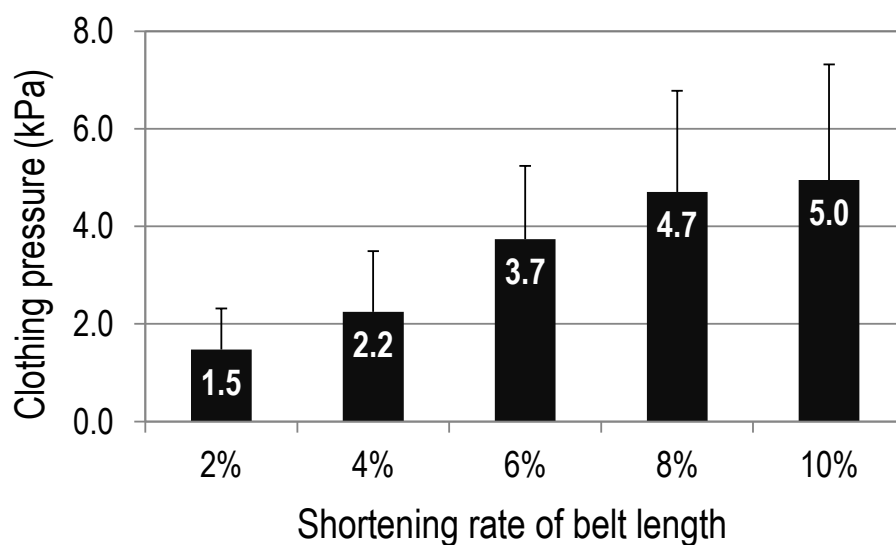


図 F-1 圧迫率と被服圧の関係

## 発表論文

本論文は以下の論文を基に構成されている。

## 審査付発表論文（レフェリー制のある学術雑誌）

- 1) 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 腹部への被服圧が心身に与える影響とその閉眼・開眼における比較, 日本感性工学会論文誌, 13(2), 403-409, 2014
- 2) 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響, 日本感性工学会論文誌, 13(3), 479-484, 2014
- 3) Mayumi UEMAE, Tomohiro UEMAE and Masayoshi KAMIJO, Differences of Psychological and Physiological Responses between Mono- and Multi-sensory Information on Clothing Pressure Sensation, International Journal of Affective Engineering 14(1), 51-56, 2015
- 4) 上前真弓, 上前知洋, 上條正義, 井上正雄, 近赤外分光法を用いたウエストベルトによる被服圧下における脳活動計測, 日本感性工学会論文誌, 14(3), 361-367, 2015

## 謝辭

本研究を遂行し本論文をまとめるにあたり，多くの方々のご支援とご指導を賜りました．すべての皆様に心から厚く御礼申し上げます．

本研究および本論文執筆にあたり，指導教員として終始懇切丁寧なご指導とご鞭撻，あたたかい激励を賜りました信州大学大学院総合工学系研究科教授 上條正義博士に謹んで深く感謝申し上げます．

本論文の審査において，ご精読頂き貴重なご助言並びにご指導を賜りました信州大学大学院総合工学系研究科教授 西松豊典博士，同教授 高寺政行博士，同准教授 吉田宏昭博士，信州大学大学院医学系研究科教授 木村貞治博士に心より御礼申し上げます．

第5章の実験において，多大なご支援とご協力，実験の場をご提供くださいました株式会社島津製作所 井上正雄氏に厚く御礼申し上げます．

また，感性工学や研究に対する考え方をはじめとする多くのことをご教授くださいました信州大学名誉教授 清水義雄博士，同名誉教授 佐渡山亜兵博士，元県立新潟女子短期大学教授 呑海信雄博士に心から感謝申し上げます．

そして，実験に快くご協力くださいました被験者の皆様，ご支援くださいました研究室の皆様に感謝いたします．最後に，これまで支え続けてくれた家族に感謝します．

上前 真弓