

運動時の体表振動特性と レオタードの体表振動抑制効果

山梨県立大学 斉藤 秀子
(共同研究者) 文化女子大学 田村 照子

The Characteristics of Body Surface Oscillation during Exercise and Its Prevention by Wearing Leotards

by

Hideko Saito
Yamanashi Prefectural University
Teruko Tamura
Bunka Women's University

ABSTRACT

In this report we examined body surface oscillation during exercise and its prevention by wearing leotards. The characteristics of surface oscillation were examined by using a 3D-kinetic analyzing system under various exercise conditions. Exercise conditions included stepping, going up and down a footstool, squatting, jumping, side steps, raising a leg at a right angle, and diagonal movement. Subjects wore a brassiere, cotton leotards, or nylon leotards, along with leggings. The values of clothing pressure, pressure sensation, and oscillating sensation were also measured. The acceleration, and the angular acceleration were analyzed.

The results of acceleration and angular acceleration suggested that oscillation was the greatest at the nipples during jumping exercises, and the buttocks and abdomen in exercise using the lower body. The combination of leotards and leggings supported the abdomen and buttocks. The clothing pressure of nylon leotards and its support were the greatest compared to other clothing types. From the results of acceleration and

angular acceleration, we found that leotards prevented more oscillation than brassiere. It is possible to say that the combination of leotards and leggings as common dance wear is appropriate to prevent oscillation.

要 旨

本研究では、運動時の体表振動特性とダンス時に用いられるレオタードの振動抑制効果について検討することを目的とし、ブラジャー、綿レオタード、ナイロンレオタードにそれぞれスパッツを着用したときの、日常動作として足踏み、踏み台昇降、蹲踞、ダンス動作としてジャンプ、サイドステップ、90度足上げ、上下運動、各動作時の体表振動特性を、三次元・運動解析システムにより測定、合わせて、衣服圧、圧迫感、振動感覚を測定した。体表振動特性について加速度、加速度差、角加速度の分析結果を考察した。

加速度および角加速度の結果より、跳躍動作では乳頭の、下肢部の運動を中心とする動作では、臀部や腹部での振動が大きいことが示唆された。ブラジャーとスパッツの着衣では肩や脇が圧迫され、レオタードとスパッツの着衣では腹部や臀部が圧迫され、とくにナイロンレオタードの場合、衣服圧も高く最も圧迫されると感じていた。加速度と角加速度の結果では、ブラジャーよりレオタード着衣に振動抑制効果があり、振動感覚も抑制されていた。ダンス練習時の着衣の組み合わせとして一般的であるレオタードとスパッツの組み合わせは、振動抑制効果という観点から適切であると推察された。

緒 言

身体の振動感覚は、皮下組織にある皮膚変位の加速度検出受容器、パチニ小体で受容するとされている¹⁾。全身振動の要素は、周波数成分と強度、変位の幅（振幅）と加速度で表現され、振動の種

類によっては不快感を感じ²⁾、その問題として乗り物による動揺病³⁾、交通機関の乗務員や機械工の全身振動⁴⁾があげられる。衣服による振動への対応として航空機のパイロット用の腹帯や加圧服があり⁵⁾、チェーンソーなどによる振動障害⁶⁾への対応として、各種防振手袋が用いられる。スポーツ分野においても、シューズの素材の開発⁷⁾や靴の種類とも関連する舗装材の検討⁸⁾が行われている。

衣服の分野における体表振動特性の研究についてみると、ファンデーションが運動によって生じる身体局部の振動を防止する効果があるとされ⁹⁾、運動時のブラジャーの防振効果が報告されている^{10, 11)}。著者らも、半導体超小型ピックアップを用いて乳房部の振動特性を評価し、ブラジャーの着用により乳房部の振動加速度の振幅および高周波数帯域での振動が抑制されるというブラジャーの振動抑制効果を観察した¹²⁾。

このように、衣服による体表振動抑制についての研究は主にブラジャーを対象として行われてきたが、ダンス時に着用するレオタードなどのストレッチ性衣服も運動時の体表振動抑制を目的として着用されている。レオタードを着用するダンス練習時の着装を観察すると、ブラジャーとスパッツの組み合わせより、ダンス用レオタードの上にスパッツを組み合わせて着用することが多く、レオタードの素材も各種用いられる。しかし、体表振動抑制の観点から、どのような着装が跳躍を初めとするダンス動作に適しているかについての検討は全く行われていない。そこで、本研究では、ダンス用レオタード着用時、各種ダンス動作を行った時の、とくに皮下脂肪が厚い身体部位の体表

振動特性を、三次元・運動解析システムにより測定し、運動時の体表振動特性とレオタードの振動抑制効果について検討した。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、22歳の健康な女子大学生5名である。表1に被験者の身体特性、合わせて皮下脂肪厚測定値を示した。被験者の平均身長は155.5cm、体重45.5Kg、BMIは18.9kg/m²であった。本実験の被験者の身体特性を全国平均値¹³⁾と比較すると、やや小柄の被験者群ではあるが、平均的身体特性とかけ離れた体型ではないと推察された。

表1 被験者の身体特性

測定項目		平均	標準偏差
身体計測値	身長 (cm)	155.5	5.6
	体重 (kg)	45.5	3.3
	胸囲 (cm)	78.2	3.7
	腹囲 (cm)	73.8	2.9
	腰囲 (cm)	86.4	2.7
BMI (Kg/m ²)		18.9	1.9
皮下脂肪厚 (mm)	肩部	3.8	1.3
	乳頭部	16.3	12.1
	脇部	3.8	0.4
	腹部	7.0	2.5
	臀部	10.3	2.5

1. 2 動作

図1に、運動動作の種類を示した。運動動作として、基本姿勢である立位、日常的動作として足踏み、踏み台昇降、蹲踞を選択した。ダンス動作としては、ジャンプ、サイドステップ、90度足上げ、上半身上下運動（以下上下運動と表す）を選択し、計8種とした。

1. 3 着用衣服と組み合わせ

表2に着用衣服とその組成を、図2に着衣の呼称と組み合わせを示した。着衣の組み合わせは、スポーツ用ブラジャー、綿とナイロンという2種のレオタード、それぞれに同一のスパッツを組み合わせ合わせた合計3種の組み合わせ、および裸状の4

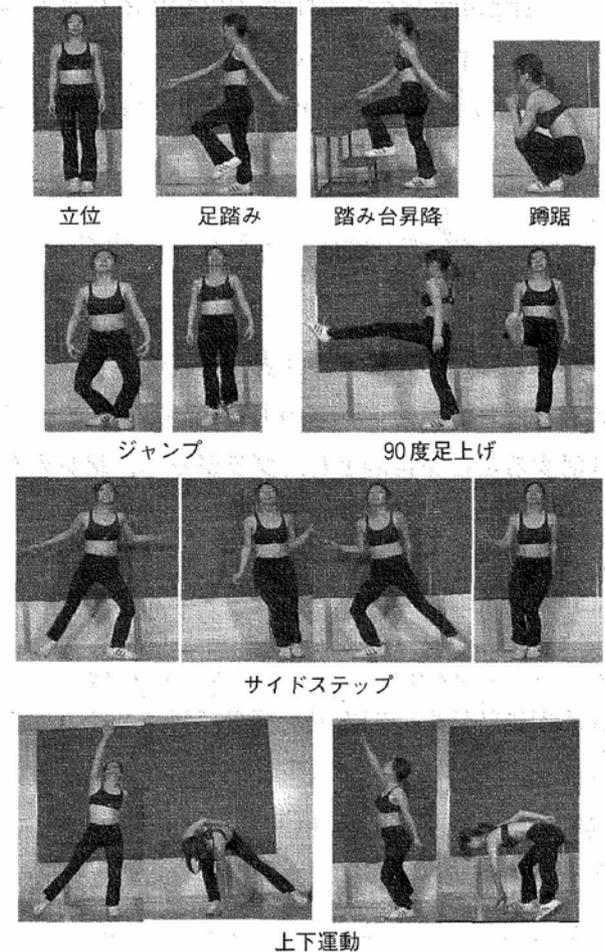


図1 運動動作

表2 着用衣服と組成

衣服	組成
スパッツ	アクリル55%, 綿35% ポリウレタン11%
スポーツブラジャー	布部: ポリエステル75% ポリウレタン25%
	ゴム部: ナイロン80% ポリウレタン20%
綿レオタード	表地: 綿89% ポリウレタン11%
	裏地: ナイロン100%
ナイロンレオタード	表地: 綿83% ポリウレタン17%
	裏地なし

条件とした。これらの条件を本文では裸状、スポーツブラジャー、綿レオタード、ナイロンレオタードと、図表の一部では、裸状、ブラ、綿、ナイロンと表す。

1. 4 衣服圧と皮下脂肪厚の測定

衣服圧の測定には、エアパック法（エイエムア

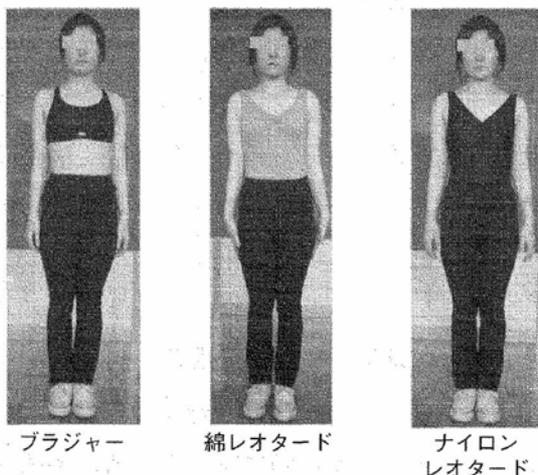


図2 着衣の呼称と組み合わせ

イテクノ製接触圧測定器)を用い、立位を含む8動作、裸状を除く3種の組み合わせ着衣条件下で、肩部、胸部(乳頭)、脇部、腹部、臀部、計5部位の衣服圧を測定した。衣服圧と同時に同5部位および着衣全体の圧感覚を;0:どちらでもない,1:やや圧迫している,2:圧迫している,3:非常に圧迫している,の4段階で調べた。また、超音波法((株)日立メディコ製リニア走査型超音波断層装置)により同部位の皮下脂肪厚を測定した。

1.5 体表振動の測定

体表振動の測定には、(株)ナックテクノロジー製、三次元運動・解析システム、VICON370を用いた。まず、体表にテープで装着した球状反射マーカーの奇跡を、4台のカメラに囲まれた計測領域内で捉え、15秒間測定、記録した。反射マーカーの装着部位は、体表振動が顕著と推測される、胸部(乳頭)、腹部、臀部と、そうでない胸骨上縁、および胴部後面の5部位とした。また、同時に体表振動感覚を;0:ゆれない,1:ややゆれる,2:ゆれる,3:ひじょうにゆれる,の4段階で調べた。着衣条件は、裸状、スポーツブラジャー、綿レオタード、ナイロンレオタードの4条件、動作は、立位を除く7動作である。

振動特性については、加速度、角加速度、2点

間距離を分析した。加速度は単位時間あたりの全移動距離と時間より求めた。角加速度は2点を結ぶ線の一秒毎の角度の変化と時間から求められ、2点間距離は2点間の直線距離である。まず、胸骨上縁、胸部(乳頭と表す)、腹部、胴部後面、臀部、それぞれの加速度を分析、あわせて、胸骨上縁と胸部(乳頭)間、胸骨上縁と腹部間、胴部後面と臀部間、の加速度差を求めた。さらに、胸骨上縁と胸部(乳頭)間、胸骨上縁と腹部間、胴部後面と臀部間、の2点間距離と角加速度を分析した。以下、このような、2部位による分析結果についても、乳頭、腹部、臀部と、2部位を代表する部位で表すこととする。いずれの分析についても、記録した15秒の測定値のうち、最初の1.5秒と最後の1.5秒を削除して12秒間の平均値を読み取った。

2. 結果

2.1 衣服圧と圧感覚

表3に本実験の衣服圧、加速度、加速度差、角加速度について、部位別に着衣、動作、被験者を因子とした分散分析の結果を取りまとめて示した。

表3 部位別分散分析の結果

	因子	乳頭	腹部	臀部	肩部	脇部
衣服圧	着衣	**	**	**	**	**
	動作	**	**	**	**	
	被験者	**	**	**	**	**
加速度	着衣	**	**	**		
	動作	**	**	**		
	被験者	**	**	**		
加速度差	着衣	*		**		
	動作	**	**	**		
	被験者		**	**		
角加速度	着衣	**	**	**		
	動作	*	**	**		
	被験者	**	**	**		

** : 1%有意,* : 5%有意

衣服圧の分散分析の結果、肩、乳頭、腹部、臀部の衣服圧では各因子に、脇部の衣服圧では着衣条件と被験者の因子に1%の危険率で有意差が認められ、衣服圧は脇部では動作の影響を受けにく

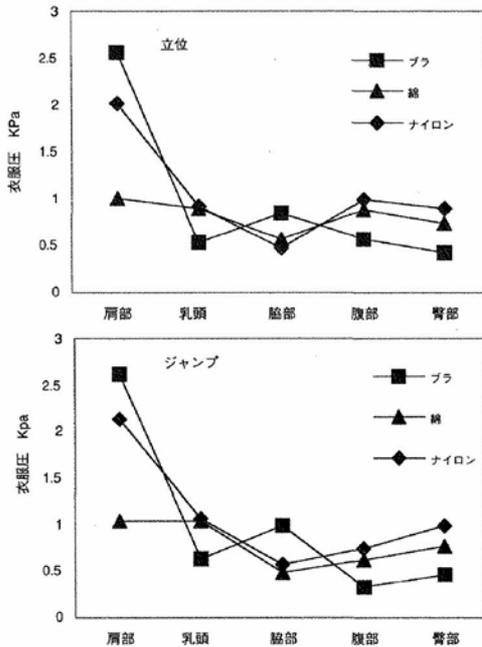


図3 動作別、部位・着衣による衣服圧の違い

いと推察された。衣服圧は8種の動作、いずれの動作も同様の傾向を示したので、日常的動作の立位と、ダンス動作のジャンプの結果を図3に示した。ブラジャーの場合、肩紐があるため、肩の衣服圧が顕著に高く、脇の衣服圧は他の着衣より高く、スパッツのみで覆われる臀部は綿やナイロンレオタード着衣より小さい傾向を示した。綿レオタードとナイロンレオタードの衣服圧を比較すると、ナイロンレオタードの衣服圧は綿レオタードより肩部では顕著に大きい、臀部、腹部ではやや大きく、乳頭以外ではナイロンレオタードのほうが大きいという結果であった。

図4に部位別圧感覚の結果を示した。ブラジャ

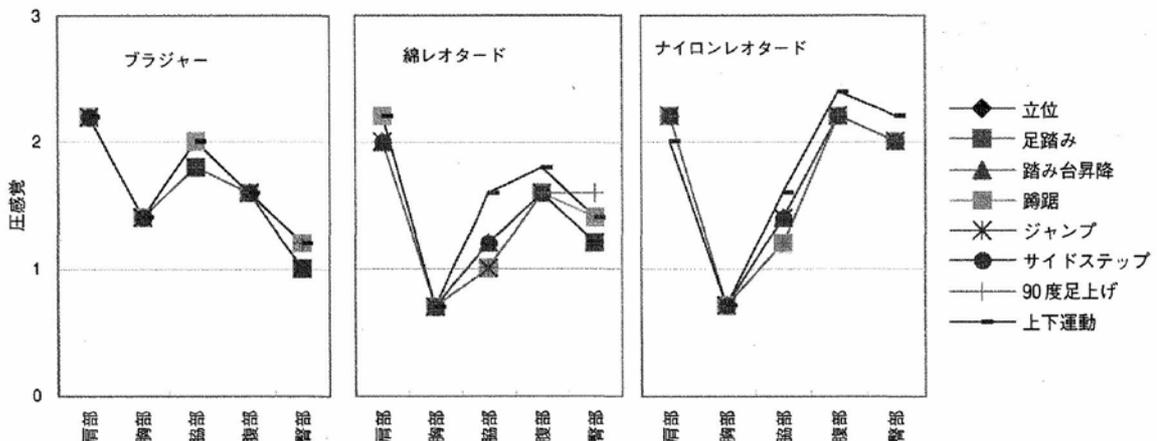


図4 部位別、着衣による圧感覚の違い

ーでは肩部と脇部に圧迫を感じ、ナイロンレオタードは綿レオタードより腹部、臀部で圧迫感があり、レオタードの場合、胸部での圧迫感は小さい傾向が見られた。また、着衣全体の圧迫感を調べた結果でも、すべての動作でナイロンレオタードは圧迫感を感じるという結果であった。

2.2 加速度および加速度差

図5に胸部、腹部、臀部の動作時、着衣別、加速度の結果を、図6に動作時、着衣別、加速度差の結果を示した。表3に示すとおり、加速度について、部位別に着衣、動作、被験者を因子とした分散分析の結果、各因子に1%の危険率で有意差が認められた。加速度差についても同様の分散分析の結果、乳頭では着衣と運動、腹部では運動と被験者、臀部では着衣、運動、被験者に有意差が認められた。

加速度は、足踏み、90度足上げ、蹲踞ではほぼ同じで、ついで、踏み台昇降、サイドステップの順に大きく、ジャンプでは顕著に大きかった。

動作別に部位間の違いをみると、加速度は、ジャンプとサイドステップでは乳頭と臀部で大きい、上下運動と踏み台昇降では臀部でほかの2部位より大きい、足踏みでは腹部と臀部で乳頭より大きく、90度足上げと蹲踞では部位による差は顕著でなかった。このように、加速度の部位間の差は動作により異なる傾向を示し、いずれの動作でも、

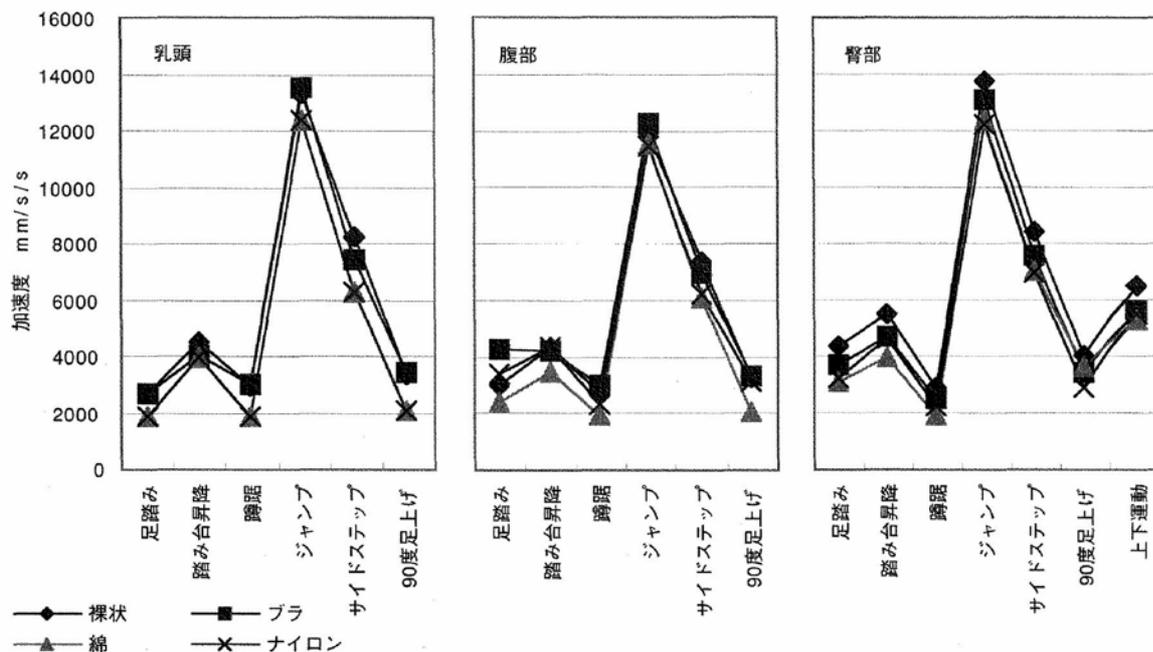


図5 部位別、動作・着衣による加速度の違い

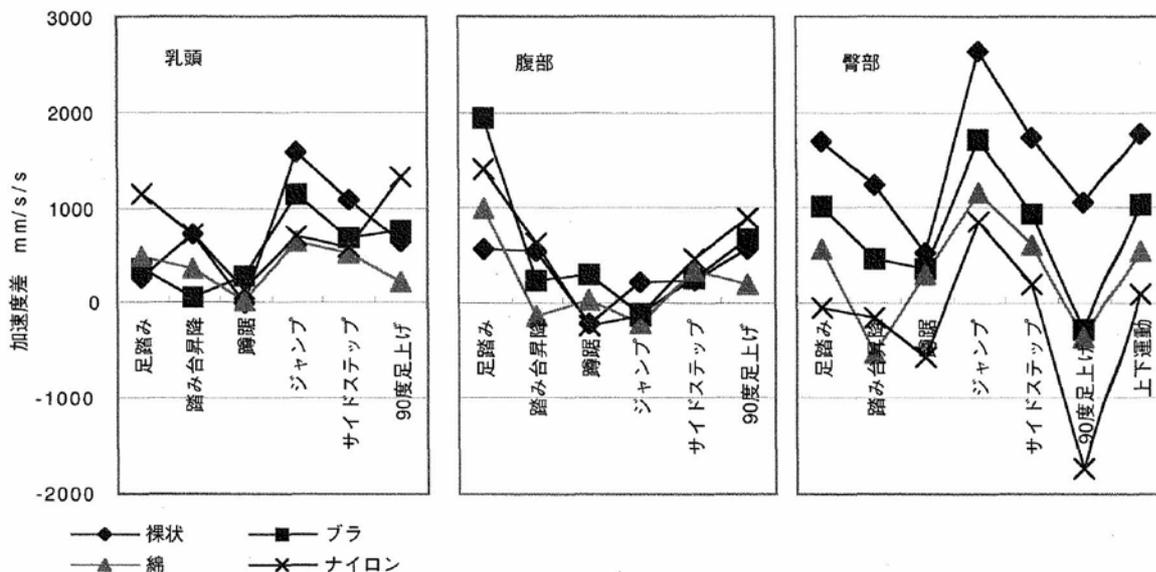


図6 部位別、動作・着衣による加速度差の違い

腹部の加速度は小さい傾向にあった。

着衣による違いをみると、乳房では、裸状やプラジャーより2種のレオタード着衣時に加速度が小さい、腹部でも、とくに綿レオタード着衣時の加速度が小さい、臀部でもレオタード着衣時に加速度が小さいという傾向がみられた。

次に加速度差についてみると、裸状時の加速度差は、臀部がもっとも大きく、ついで乳房、腹部で小さく、腹部の加速度差はほかより小さい傾向がみられた。動作による違いは臀部においてみられ、ジャンプで最も大きく、ついでサイドステッ

プ、上下運動、足踏みではほぼ同じ傾向を示した。

裸状時と着衣時の比較では、乳房ではジャンプ、サイドステップ時の裸状時で最も大きく、2種のレオタード着衣時には小さい、臀部では全動作時に、裸状時で最も大きく、2種のレオタード着衣時には小さい傾向がみられ、腹部においては、着衣間の有意差が認められず、着衣による一定の傾向は示されなかった。綿レオタードとナイロンレオタードの違いをみると、臀部においては、いずれの動作でもナイロンレオタードで加速度差が小さい結果となった。

2.3 角加速度

図7に胸部、腹部、臀部の動作時、着衣別、角加速度の結果を示した。表3に示すとおり、角加速度について、部位別に着衣、動作、被験者を因子とした分散分析の結果、各因子に有意差が認められた。

裸状時の角加速度は、ジャンプ、サイドステップ時の乳頭と臀部で顕著に大きく、ついで足踏み、踏み台昇降、上下運動時の臀部で大きい傾向を示した。腹部の角加速度はいずれの動作においても小さいという結果であった。

着衣による違いをみると、足踏み、踏み台昇降、蹲踞、90度足上の動作時に、綿レオタード着衣

の乳頭、腹部の角加速度が小さい傾向を示した。綿レオタードの場合、90度足上げ以外の動作で臀部の角加速度が他の着衣より小さい結果となった。

2.4 振動感覚

図8に着衣別振動感覚の結果を示した。

振動感覚についてみると、ブラジャーやレオタード着衣時と比較して裸状時に顕著にゆれると感じていた。もっともゆれると感じる裸状時の動作による違いをみると、とくにジャンプやサイドステップ、足踏み昇降でゆれると感じ、90度足上げではゆれると感じてない。部位別には腹部の振

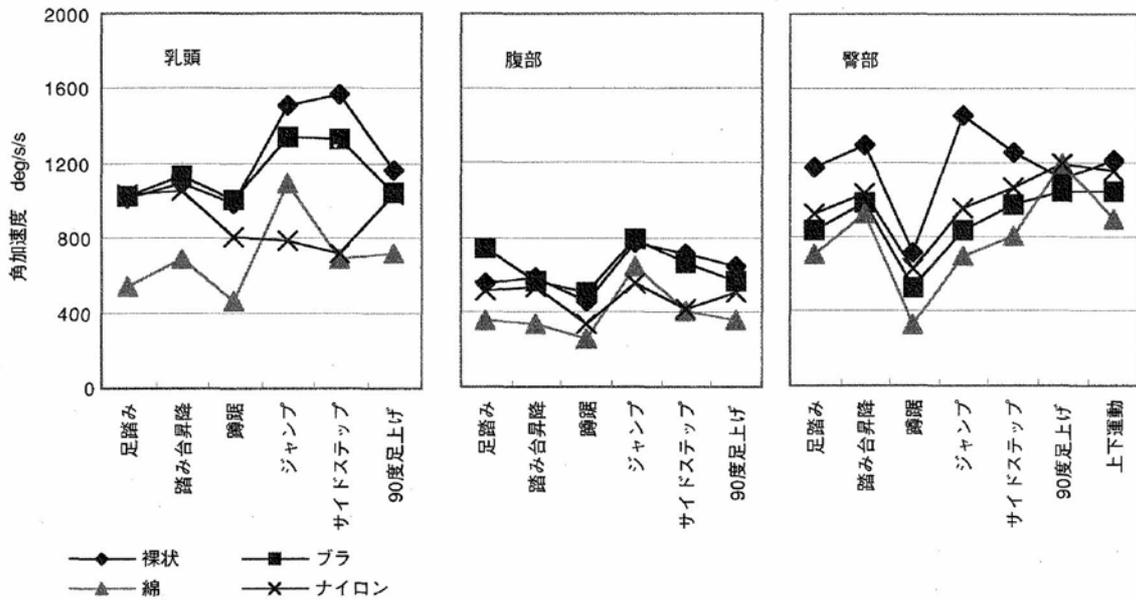


図7 部位別、動作・着衣による角加速度の違い

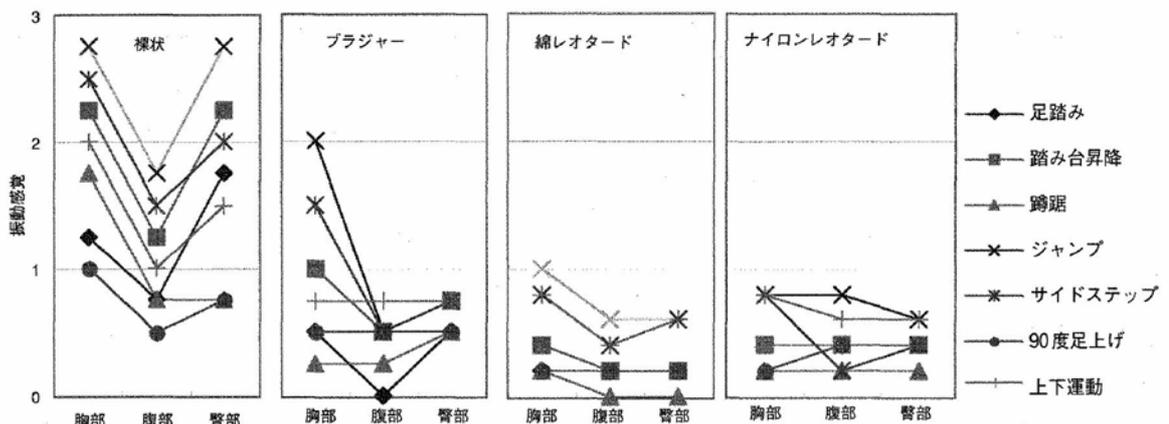


図8 部位別、着衣による振動感覚の違い

動感覚が小さい傾向にあった。

これに対し、着衣時の振動感覚についてみると、ブラジャー着衣時のジャンプとサイドステップで乳頭のゆれを感じていたが、ブラジャー着衣時の腹部と臀部および綿レオタードとナイロンレオタード着衣時にはややゆれる以下の振動感覚で、ほとんどゆれを感じていないことがわかる。

3. 考 察

3. 1 動作時の体表振動特性

加速度についてみると、跳躍動作であるジャンプ、サイドステップでは、脂肪が厚く、やわらかい組織である乳頭と、やはり脂肪の厚い部位である臀部で顕著に大きな振動が観察された。また、下肢部の運動を中心とする上下運動や踏み台昇降では臀部で、足踏みでは腹部と臀部で乳頭より大きい振動が観察された。乳頭はどのような動作でも加速度が大きいと考えられたが、乳頭の加速度はジャンプやサイドステップのような跳躍を中心とする運動では大きい傾向にあるものの、下肢部の運動ではほかの部位より小さいと推測された。

加速度の測定では、測定部位として、皮下脂肪の厚い、振動の顕著な部位と、皮下組織が骨に相当し組織そのものの振動が小さい部位について測定し、その差をもって、振動の顕著な部位の振動について観察する方法がとられている⁹⁾。そこで、本研究でも同様の方法で測定、分析を行い、これを加速度差として表した。裸状時の加速度差についてみると、加速度差は他の部位より臀部で大きく、動作による違いも臀部で顕著で、ジャンプで最も大きく、ついでサイドステップ、上下運動、足踏みでほぼ同じ傾向を示した。加速度差の結果では、加速度の結果で示された、跳躍運動での乳頭の振動は示されなかった。

角加速度は、2点を結ぶ線の1秒毎の角度変化から求められ、横方向を中心とした振動特性を表すと考えられる。横方向の振動は、ジャンプやサ

イドステップのような跳躍動作では乳頭と臀部で大きく、腹部では小さいと推察された。

以上のように、加速度と角加速度の結果では、跳躍動作では乳頭の、下肢部の運動を中心とする動作では臀部や腹部で、振動が大きいことが示唆された。しかし、加速度差では同様の傾向は示されなかった。

3. 2 レオタードの体表振動抑制効果

衣服による体表振動抑制はストレッチ性素材を用いて身体を圧迫することによると考えられるため、まず、身体圧迫の程度である衣服圧について考察した。ブラジャーの場合はその構造上、肩と脇の衣服圧が高く、身体を圧迫していたが、臀部では身体圧迫の程度はスパッツのみで被っているため、レオタード着衣より軽少であった。衣服圧を2種のレオタード間で比較すると、ナイロンレオタードは綿レオタードより腹部、臀部で衣服圧が高く、その結果、ナイロンレオタードの着衣全体の圧感覚も、すべての動作で「圧迫している」と感じていた。本実験で選択した2種のレオタードの比較では、ナイロンレオタードは綿レオタードより身体への圧迫があると推察された。

次に、体表振動特性としての加速度、加速度差、角加速度の測定結果より、着衣による振動抑制の違いについて考察した。加速度についてみると、ブラジャー着衣よりレオタード着衣で振動が抑制されていた。綿レオタードとナイロンレオタードを比較すると、綿レオタードにより腹部での振動が抑制される傾向が顕著であった。加速度差の結果では、ブラジャーよりレオタード着衣のほうが乳頭の加速度差が小さい、綿レオタードでは下肢を中心とした運動で腹部の加速度差が小さい、ナイロンレオタードでは臀部の加速度差が小さいという結果が得られた。

このように、加速度と加速度差の測定結果をみると、ブラジャーとスパッツの組み合わせ着衣よ

りレオタード着衣のほうが、振動が抑制されるが、どの部位の振動抑制効果が大きいかについては、レオタードの素材により異なる結果となった。一般に指標として用いられる加速度差の結果からは衣服圧が大きく、圧迫感を感じるナイロンレオタードのほうが臀部での振動抑制効果が大きと推察された。一方、加速度の結果からは、綿レオタードのほうが腹部での振動抑制効果が大きと推察された。この原因として、ひとつには、日常およびダンス時動作の特性が考えられる。胴部後面と臀部は位置が近いこと、また、上肢の運動の影響を受けにくく、下肢運動においても局所の振動に対する運動の影響を受けにくい部位と考えられる。一方、胸骨と腹部は身体上の位置に距離があること、また、腹部は下肢の屈曲動作の影響を受けやすい部位であること、胸骨上縁と乳頭間は、距離は近いが、胸部はとくにダンス動作の場合、動作とともに動く上肢の影響を受けやすいと推察される。さらに、今回の分析で、加速度は全方向の移動距離より求めており、加速度差はこの加速度を求めた結果の2部位間の差で求める方法であったため、時系列的に基準点と測定点の対応した差をとっていないという問題がある。加速度差を分析する場合、この2点について、今後さらに検討する必要があると思われる。

角加速度で示される横方向の振動についてみると、加速度、加速度差の結果と同様、ブラジャーよりレオタード着衣で振動が抑制されていた。とくに、綿レオタードは他の着衣と比較して、ジャンプやサイドステップという跳躍動作以外の動作では乳頭と腹部の振動抑制効果があり、臀部でも90度足上げ動作以外で他の着衣と比較して横方向の振動抑制効果があると推察された。

振動感覚についてみると、裸状時には跳躍動作であるジャンプやサイドステップで顕著にゆれを感じる傾向にあった。ブラジャーとスパッツの組み合わせ着衣では腹部、臀部の、2種のレオター

ドの着衣ではいずれの部位でも振動感覚が抑制されていた。レオタード着衣により、乳頭の振動が抑制され、振動感覚も抑制され、レオタード着衣が振動抑制に有効であると推察された。

以上のように、ブラジャーとスパッツの着衣は肩や脇が圧迫され、レオタードとスパッツの着衣では腹部や臀部が圧迫され、とくにナイロンレオタードは衣服圧も高く、最も圧迫されると感じていた。加速度と角加速度の結果では、ブラジャーよりレオタードに振動抑制効果があり、振動感覚も抑制されていた。これらの結果よりダンス練習時の着衣の組み合わせとして一般的であるレオタードとスパッツの組み合わせは振動抑制効果という観点から適切であると推察された。しかし、レオタードの素材による振動抑制効果の違いは、分析の手法により異なり、加速度と角加速度では綿レオタードの腹部での振動抑制、加速度差の結果ではナイロンレオタードの臀部での振動抑制が観察される結果となった。加速度差の求め方を含め、綿とナイロンというレオタードの素材による振動抑制効果の違いについて、素材の張力、皮膚と素材間の摩擦特性という観点からの検討が必要であると考える。

謝 辞

本研究に助成いただいた(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

また、実験の施設・設備を提供してくださいました、文化女子大学文化・服装学総合研究所、文化女子大学被服衛生学研究室、実験にご協力くださいました文化女子大学卒業生坂内美帆さんに感謝申し上げます。

文 献

- 1) 古河太郎, 本田良行編: 現代の生理学, 金原出版, 219-225 (1994)

- 2) 佐藤方彦：人間工学概論, 光生館, 67-278 (1971)
- 3) 黒島あき汎：環境生理学, 理工学社, 157 (1981)
- 4) 三浦豊彦：労働科学業書3生活の衛生学, 労働科学研究所, 125-127 (1954)
- 5) 人間-生活環境系編集委員会：人間-環境系, -人間機能データブッカー, 人間と技術社, 314-315 (1972)
- 6) 米川喜晴：振動の生体反応, 人間と生活環境, 8 (12), 3-8 (2001)
- 7) 小林一敏：スポーツにおける身体の衝撃, 日本機械学会誌, 90 (828), 65-70 (1987)
- 8) 牧恒雄：歩道舗装材の弾性測定法に関する研究, 土木学会論文集, 426, 41-150 (1996)
- 9) 田中道一：被服の運動機能性と快適性, 織消誌, 25 (9), 438-444 (1984)
- 10) 竹内友昭：乳房の運動とブラジャー, 人間工学, 20 (2), 65-68 (1984)
- 11) 樋口ゆき子, 中村邦子：スポーツブラジャーの運動機能性, デサントスポーツ科学, 7, 266-273 (1986)
- 12) 斉藤秀子, Syukupin, M., 田村照子：人体表面振動の周波数分析とブラジャーの機能評価への応用, 繊維学会感覚と計測シンポジウム予稿集 (1990)
- 13) 通商産業省工業技術院監修：成人女子の身体データ, (社)人間工学研究センター (1997)