

バレエ特有の立位姿勢保持に関する
体幹筋の発達特性

2018年3月

新潟大学大学院

現代社会文化研究科

氏名 末吉のり子

目次

第 1 章 序論	1
第 1 節 はじめに . . .	1
第 2 節 バレエの正しい姿勢を学ぶ上での問題点 . . .	2
第 3 節 研究の目的 . . .	5
第 4 節 バレエ姿勢指導の背景 . . .	6
第 5 節 引き上げ姿勢と脊柱アライメント変化 . . .	10
第 1 項 バレエの姿勢は どのように評価されてきたか . . .	10
第 2 項 脊柱アライメントを保持するための 体幹筋の重要性 . . .	12
第 6 節 研究方法の選択 . . .	13
第 7 節 論文の構成 . . .	16
第 2 章 バレエ経験者の身体特性と 体幹筋発達特性との関連性	18
第 1 節 はじめに . . .	18
第 2 節 方法 . . .	18
第 1 項 被験者 . . .	18
第 2 項 CT 撮影像からの体幹筋横断面積測定 . . .	19
第 3 項 X 線撮影像による脊柱アライメント評価 . . .	20
第 4 項 重心動揺測定 . . .	21
第 5 項 統計学的処理 . . .	22
第 3 節 結果 . . .	23
第 1 項 身体特性と体幹筋横断面積との関係性 . . .	23

第 2 項	SIA 及び LLA 変化量と体幹筋横断面積	・ ・ 24
第 3 項	重心動揺と体幹筋横断面積	・ ・ 25
第 4 節	考察	・ ・ 27
第 1 項	身体特性と体幹筋横断面積との関係性	・ ・ 27
第 2 項	SIA 及び LLA の変化量と 体幹筋横断面積との関係性	・ ・ 27
第 3 項	重心動揺と体幹筋横断面積との関係性	・ ・ 29
第 3 章	体幹筋発達特性とバレエ姿勢	・ ・ ・ ・ ・ 31
第 1 節	はじめにーバレエ姿勢で働く体幹筋ー	・ ・ 31
第 2 節	方法	・ ・ 32
第 1 項	被験者の選定	・ ・ 32
第 2 項	脊柱アライメント変化評価並びに 体幹筋横断面積測定	・ ・ 32
第 3 項	クラスター解析	・ ・ 33
第 3 節	結果	・ ・ 33
第 1 項	SIA 及び LLA の変化量と 体幹筋横断面積との関係性	・ ・ 33
第 2 項	クラスター間の違いについての検証	・ ・ 34
第 3 項	体幹筋横断面積と SIA,LLA との相関関係	・ ・ 34
第 4 節	考察	・ ・ 37
第 4 章	全体幹 CT 撮影像によるバレエ姿勢時の 体幹筋の特性	・ ・ 43

第 1 節	はじめに	43
第 2 節	方法	43
第 1 項	被験者の選定	43
第 2 項	全体幹 CT 撮影	44
1	撮影時の注意点	44
2	撮影姿勢	44
第 3 節	結果	45
第 1 項	バレエ姿勢時における体幹部の伸展	45
第 2 項	バレエ姿勢時における体幹内部変化	48
第 4 節	考察	54
第 5 章	体幹部の安定性と重心動揺との関連性	60
第 1 節	はじめに	60
第 2 節	方法	61
第 1 項	圧バイオフィードバック	
スタビライザーの利用		61
第 2 項	被験者の選定	62
第 3 項	PBS での腰椎変化値の測定	62
第 4 項	重心動揺測定	63
第 5 項	解析方法	63
第 3 節	結果	64
第 4 節	考察	67
第 6 章	総括論議	68
第 1 節	本研究のまとめ	68

第 2 節	本研究の問題点の検証	69
第 3 節	バレエ姿勢とモーメントとトルク	71
第 4 節	腹腔内圧の上昇とバランス	73
第 5 節	バレエ姿勢と呼吸	76
第 6 節	バレエ現場での利用	80
第 7 章	参考文献	83

「バレエ特有の立位姿勢保持に関する体幹筋の発達特性」

第1章 序論

第1節 はじめに

バレエはイタリアのルネッサンス期のダンスを起源とし、フランスの宮廷文化の中でオペラから独立してバレエとして花開き、ロシアで技法が確立して、音楽、美術、文学などの要素を含む総合芸術の一分野となった。15世紀のイタリアに遡れば、裕福な国王たちが宮廷で上流貴族の客たちに印象づけるための贅沢なエンタテインメントで使われたダンスだったものが、17世紀になるとイタリアやフランスなどの振付家によってダンスの新しい技術の可能性が見出され、バレエ独自の技術が確立された。感情豊かな表現・意義を持つ芸術の一分野として発達をはじめ、音楽、文学、振付、衣裳、デザインなど幅広い要素を含む総合的な舞台芸術となった。19世紀にはいると、フランスをはじめとするヨーロッパではバレエは急速にすたれていく。その後、ロシアに移植されたバレエは、フランス人振付家マリウス・プティパによりバレエの水準が急速に高まり、ヨーロッパでのロマンティック・バレエ衰退後も、ロシアでクラシック・バレエと呼ばれる形式が確立され繁栄していった（大木，2010）。

フランスにおいてバレエの基本が確立した段階では、飛び跳ねるという踊り方は、優雅さに席を譲って、かなり抑圧されていた。また、本来宮廷における礼儀作法の延長上に構想された舞踊だったため、大きく脚を上げる、相手を抱いて持ち上げるなどは、まず考えられない振付であった。プティパは歴史の変遷の中で、優雅を目指すあまり

小振りになってしまったバレエに、ダイナミックな要素を取り入れた。プティパの振付では、男性は女性を支え続け、そのピルエット（回転）がいかにか美しいか、そのバランスがいかにか完璧であるか観客に示さなければならない。時には女性を頭上高く持ち上げた（リフト）上で、一瞬のうちに降ろし、脇に抱え、抱えた女性を膝の上で絶妙なバランスを取らせたまま手を離すと言った超絶技巧を披露しなければならなくなった。また、男性の踊りは跳躍しながら、舞台いっぱいに輪を描いたり、足をあげたまま回転し続けて輪を描くような、極めて大胆なものへと変化していった。空中に一瞬止まっているような素晴らしい跳躍を見せるダンサーもたくさん登場するようになった。女性はずつま先立ちで優雅に移動し、片足のポアント（トゥ・シューズ）で数十回も回転し続けるなどの技巧が必要になったのも、プティパが振付を手掛けるようになってからだ（三浦，2000）

プティパがほとんど全ての演目で取り入れた男女のデュエット（グラン・パ・ド・ドゥ）は20分以上、主役の2人だけが様々な技巧を駆使して、観客を魅了する踊りであり、バレエはますますアスリート並みの体力、身体をコントロールする能力を求められるようになっていった。どんなに素晴らしい振付であっても、それを芸術の域にまで引き上げるのは、バレエダンサーの身体能力に大きく左右されることは言うまでもない。

第2節 バレエの正しい姿勢を学ぶ上での問題点

バレエがフランスから移植されたロシアでは、早い段階でバレエ学校も設立されてきた。現在のワガノワ・アカデミーは帝室バレエ学校の後身だが、その帝室バレエ学校は1738年に設立されている（三

浦, 2000)。プティパ以降、ますますバレエは幼少期からの継続したトレーニングが必要であり、高いテクニックを要求される舞台芸術と成長していった。バレエは長い間特別な訓練を受けた人だけが踊る芸術であり続けたが、近年、日本では様々な年齢層で趣味としてバレエレッスンに参加する人の増加が見られ(海野ほか, 2012)、芸術的側面だけでなく、バレエの運動としての側面が多くの人に注目されるようになってきた。バレエダンサーであっても、趣味でバレエを楽しむ愛好家であっても、バレエの技術を習得する第一歩はその独特の姿勢を保持する方法を学ぶことである(ローソン, 2000)。ところが、日本では公立のバレエ学校は存在せず、様々なバレエ教室で独自の教え方をしており、同じバレエ教室で教える教師によっても使われる言葉が統一されているとは言い難い。諸外国ではバレエ教師になるためには、解剖学などを含む専門的な知識を身につけなければならないが、日本での指導は個人経営のバレエスクールに任されており、バレエがスポーツと同じように研究分析されることに難色を示す者も多い(斎藤, 2012)。クラシックバレエの入門段階で身につけるべき正しい構え姿勢は、ローソンによれば、「プロのダンサーを目指すなら、この点を十分心得て訓練しないと結局はものにならなくなると言われている。アマチュアの場合もあるスポーツをうまくなろうとか、体育教師になろうとするなら、骨格の仕組みや相互の関わり、頭のとっぺんから足の接地点を通るバランスのセンターラインを心得ておかないと、うまく目標が達成できない。ステップ、ポーズ、走・跳などで移動する際、姿勢調整が少しでも悪いと、身のこなし全体に影響するからである」(ローソン, 2003)。近年、バレエのテクニック本も一般的書籍のコーナーで手軽に入手することがで

きるようになった。それらのテクニック本によるバレエ姿勢の説明は以下のようなものがほとんどである。「お腹、胸を引き上げて肩を下げて立ちます。天井から糸で引っ張られているようなイメージです。首と背中是一直線になるように意識し、アゴも突き出してはいけません。肩や腕から力を抜くことも大切です。(堀本・アクリ, 2013)」また、「踊り手ならば、常に意識して正しく立つということ。両足に体重をかけて、脊柱をまっすぐにして上半身を引き上げて立つ。この正しい姿勢を、あるいは立ち方は時間をかけて身につけるもので、いちいち注意されなくても、自分ひとりで常にこのことを意識していなければならない(ロイヤルアカデミー, 1997)。これらのテクニック本の多くに述べられているのは、バレエ上達の第一は正しい姿勢であること、そして脊柱を「引き上げる」ということである。この「引き上げる」という言葉は現在でも、バレエの現場で常に使われ続けている言葉である。しかし、「引き上げて立つ」とはいったいどのようにして脊柱のアライメントを変えるのか、どのような筋肉が使われ、どのような身体的な変化が起こるのかを X 線や MRI などを使って、具体的に示しているテクニック本や解説書は現在でも見受けられない。

そもそもいったい何を「引き上げる」のかという問題がある。大辞林(三省堂)によれば「引き上げる」とは何かを引っ張って上に上げる事である(英語でも"pull up"と言われる)。おそらく、「脊柱を引き伸ばして、長く保ちなさい」という意味だと考えられるが、脊柱は構造上、自ら立ち上がることできない。背筋や大腰筋を下に向かって伸ばす力によって、脊柱の彎曲が小さくなるため、脊柱が持ち上げられたように感じる(グリーグ, 1997)。身体的な感覚で「引きあがっ

たように感じる」ということはできるが、引き上げるという言葉はバレエの正しい姿勢をとることを説明するにはあまり適した言葉ではないように思われ、多くの間違った姿勢の原因となる可能性を含んでいる（グリーング，1997。）

第3節 研究の目的

バレエは表現媒体を人の身体としていながら、自然科学的根拠に基づいた先行研究は多いとはいえない。これまで述べてきたように、バレエには独特の姿勢や動作が多く存在し、バレエダンサーは脊柱の生理的弯曲ができるだけ小さくなるような姿勢—引き上げ姿勢—（以下「バレエ姿勢」と略す）をとり、かつ股関節から下肢を外旋（以下「ターンアウト」と略す）した状態で高い身体能力を発揮する必要がある（ローソン，1995；スパージャー，1990；クリッピンガー，2013）。バレエテクニックはフィギュアスケートや新体操にも取り入れられ、多くのアスリートは訓練の一環としてバレエのバーレッシンやフロアレッシンなどを取り入れている（大野・上原，2011；中野，2010）。

実際にバレエ姿勢がどのような脊柱アライメント変化を引き起こしているのか、どのような筋活動が行われているのかを詳しく言葉や図で解説している専門書を手に入れることができるようになった。しかし、そのような専門的な解説書も具体的な定量測定を行っているわけではなく、多くの場合はイラストやモデルを前額面や矢状面から撮影した写真のみである。言葉やイラストのみの説明では、身体内部でどのような変化が起こっているのかを正しく理解するためには、解剖学の知識がない限り、非常にわかりづらい。狭いエリアで起

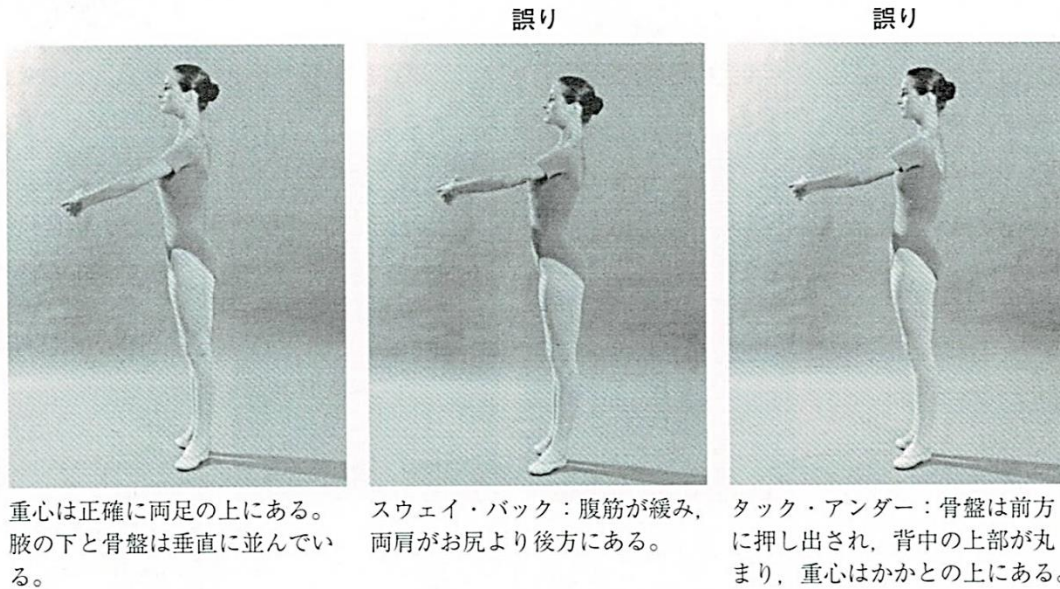
こる筋活動などであれば非侵襲性の超音波診断などが可能である。しかし、バレエ姿勢のアライメント変化は全身に及び、多くの筋肉の連携が起こっており、ごく一部の狭いエリアだけをターゲットとする超音波診断では全体像をつかむことは困難である。全身を解析の対象とすることは難しいとしても、脊柱のアライメントや骨盤の状態、それに付随する筋肉の状態などの観察が X 線や MRI 撮影像からできれば、多くの情報を得ることができ、かつバレエ姿勢の具体的な指導へ活かせる可能性があると思われる。

よって本研究ではこれまでほとんど行われてこなかったバレエ姿勢の定量的解析はどのような方法で行えばよいのか、実際にバレエ経験者、並びにプロフェッショナルバレエダンサーの解析を行い、バレエ姿勢による脊柱アライメントの変化やそれを引き起こす体幹筋の特性について検証し、バレエ動作に必須のバランス能との関わりについて検証を行うこととした。本研究によって、これまで解明されていなかったバレエ姿勢—引き上げ姿勢とはどのような身体的な変化を引き起こし、バレエにとってどのような利点があるのか—について定量的な測定を行い、バレエの現場で利用できる具体的な指針を示すことが可能であるかについて検討を行う事とする。

第 4 節 バレエ姿勢指導の背景

バレエでは正しい姿勢を必ず身につけなければならない。姿勢を保持できなければ、身体をコントロールする技術も身に付かず、動きも自由でなくなる。(ワーレン, 2008) しかし、正しい姿勢は大変微妙なバランスや筋活動の上に成り立っており、正しい姿勢を見分け、

さらに指導をするということには高度なスキルが伴う。経験さえあれば、バレエにおける姿勢の違いを指摘することはそう難しくないと思われる。しかし、何が正しくて、何が間違っているのかを指摘す



重心は正確に両足の上にある。腋の下と骨盤は垂直に並んでいる。

スウェイ・バック：腹筋が緩み、両肩がお尻より後方にある。

タック・アンダー：骨盤は前方に押し出され、背中上部が丸まり、重心はかかとの上にある。

図 1 バレエにおける正しいスタンスと間違っただスタンスの例 (クラシックバレエテクニック pp5 より引用)

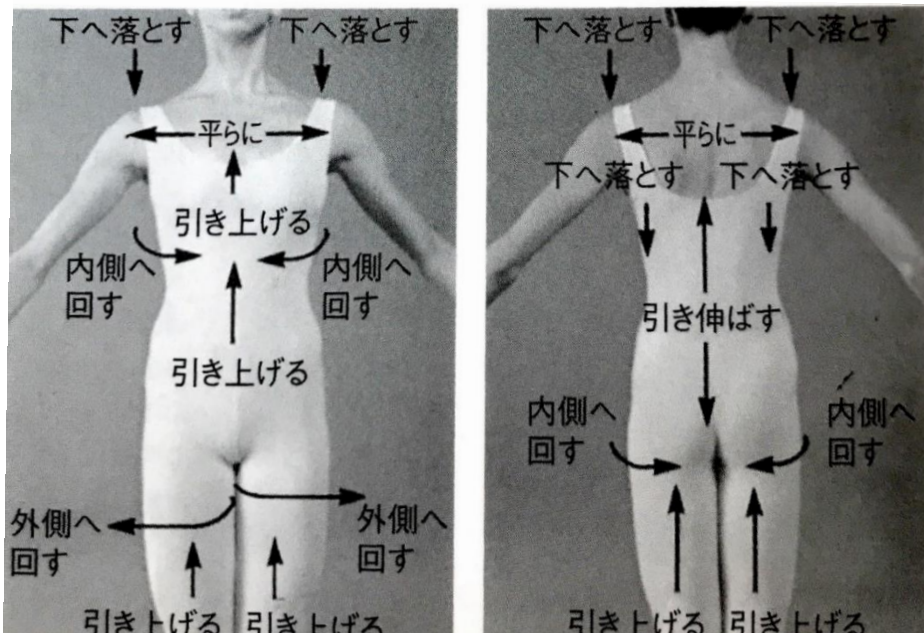


図 2 正しいスタンスを保つ筋感覚 (クラシックバレエテクニック pp5 より引用)

ることは難しい。さらに、なぜそのような姿勢になってしまうのか、またなぜそのような姿勢では技術の習得を難しくするのかを解剖学や運動学に基づいた知識を駆使して指導をすることは非常に難しいとされる。実際にプロフェッショナルダンサーとして活躍した経験を持つ教師による指導においても、しばしば間違っただけで説明されているとの指摘もある。年少のダンサーが何を引き上げるのか説明されないまま「引き上げなさい」と言われ続けて、障害を生じることもある。(グリーグ, 1997)。バレエ姿勢における科学的なコンセプトを伝えられなければ、生徒に混乱を与える場合があるうえ、間違っただけの姿勢を長年保持し続けて、技術の習得を困難にし、怪我をするリスクの増加にもつながる可能性がある(グリーグ, 1997)。

長いバレエの歴史を持っている西欧諸国では正式なバレエ教師になるためには、自らが踊れることはもちろんのこと、指導方法などがきちんと確立されており、正規の学校で教育を受けて教師資格を取得することを求められることが多い。しかし、日本の現場では、2017年現在、バレエを教えるにあたってバレエ教師の資格取得などは必要なく、多くのバレエ教師は自らが経験してきたことを元にバレエ教室を主宰し、子弟を育てることがほとんどである。

図 1 はバレエのテクニック教則本から引用したバレエの正しい姿勢を示した例であるが、誤りである姿勢は何が原因でこのような姿勢になってしまうかは指摘されていない。また、バレエテクニック教則本のモデルはバレエに適した体型のものがほとんどで、様々な体型の生徒が取り上げられることはめったにない。図 2 はどのような事を意識してバレエ姿勢を保持すべきか示されたものであるが、これらをすべて理解し、実行することは、バレエの訓練を長年受けてき

た生徒にとっても難しいと思われる。まして、若い生徒たちにとっては、ほとんど不可能と思われる。ところが、バレエの訓練は幼少期から始めなければ、プロフェッショナルダンサーになることはできない。いかに教師の正しい知識と指導が重要な意味を持つのが理解できる。

バレエを踊る人はバレエダンサーのみならず、バレエ愛好家も必ずバーレッションを行う。バーは身体を支えるための横木であり、バーレッションはバーを保持しながら、かならず右左を均等に動かすように組まれている。人の直立姿勢は、主に3つの感覚情報をもとに調整されている。すなわち、目からの視覚、耳にある前庭器官や三半規管からの平衡感覚、そして筋からの体性感覚である。これらの感覚情報を中枢神経系が統合し、適切に処理することによって、効率的な姿勢保持が可能となるのである（深代ほか，2010）。その神経の統合を行うために、指先からの体性感覚情報が取り入れやすいバーレッションを、ウォーミングアップの1つとして取り入れているのだと思われる（末吉ほか，2015）。バーレッションの基本メニューをこなすためには40~45分を必要とする。ダンサーはさらにバーを保持しない状態でセンターレッションを行い、それらすべてがバレエを踊るために必要なウォーミングアップとなる。バーレッションとセンターレッションをすべてこなすと90分にもなる。ダンサーは毎日それを繰り返し、当日の自分の姿勢の調整を行い、さらに自分のバランス感覚や筋肉の状態を把握したうえで、表現力を必要とする自分の踊りに着手するのである。バレエの長い歴史の中で培われてきたのがバーレッションとセンターレッションであるが、どのような身体的感覚を意識しながらやるべきかは個人の調整能力に任されている。海外のバレエ団

やバレエスクールのダンサーは運動生理学、解剖学、運動力学などの科学的根拠をもとにした知識を有し、それをどのように統合して自分に落とし込むことができるか考える。そのようなバレエ環境であれば、自分の身体特性について考え、理解しているバレエダンサーを育成することも可能であるが、日本の特殊なバレエ教育事情では、教師や指導者がどのような根拠に基づいて指導しているかに頼らざるを得ないのが現状である（斎藤，2012）。

第5節 引き上げ姿勢と脊柱アライメント変化

第1項 バレエの姿勢はどのように評価されてきたか

現在、日本で最も詳しいとされるバレエ・ダンスに関する最も詳しい解剖学の書籍は西村書店から発売されている「ダンスの解剖・運動学大辞典」であろう（クリッピング著 2013年9月発売、全451ページ）。その中では引き上げ姿勢について次のように書かれている。

『“背骨を引き上げて伸ばしなさい”は解剖学的に解釈すると、脊柱の正常な矢状面の彎曲をわずかに“崩す”抗重力的な筋を使うということである（図A）。脊柱の筋群が協調して収縮する

と、彎曲は僅かに浅くなり、脊柱の長さがわずかに増す（図B）。横からの観察では、骨盤の位置に注目すると良い。理想的なアライメン

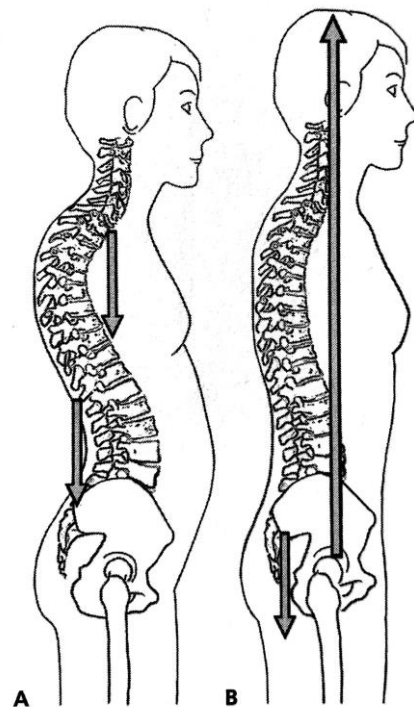


図3 引き上げ姿勢時における脊柱アライメント（ダンスの解剖運動学大辞典より引用）

トでは、骨盤は前傾や後傾がなく、垂直位をとる（恥骨結合と上前腸骨棘が垂直面にある）。前方への骨盤傾斜（骨盤前傾）は腰椎前弯を増加させ、後方への骨盤傾斜（骨盤後傾）は腰椎前弯を減少させる傾向がある。この傾きが脊柱アライメントに直接影響する。』

図 3 のようなイラストでは脊柱アライメントの変化が極端に描かれているので、脊柱にどのような変化が起こっているのかわかりやすい。しかし、実際の脊柱のアライメントを反映しているとはいえない。この大辞典においても、イラストのみで、X線撮影像などによってどのように脊柱アライメントが変化しているかは述べられていない。

次に、バレエの指導書として長年愛読されている「バレエのサイエンス」（2003年大修館書店、全164ページ）ではどのように示されているのかを見てみる。イラストはかなり精巧に描かれており、見慣れた人間がみれば、脊柱アライメントがどのように変化しているのか理解することは困難ではない。しかし、脊柱アライメントの変化は微妙でわかりにくく、脊柱のアライメント変化がどの筋肉によって起こるのかは図示されてはいない。多くのバレエに関する書籍はこのような表現方法をとっており、実際に自分がどのよ

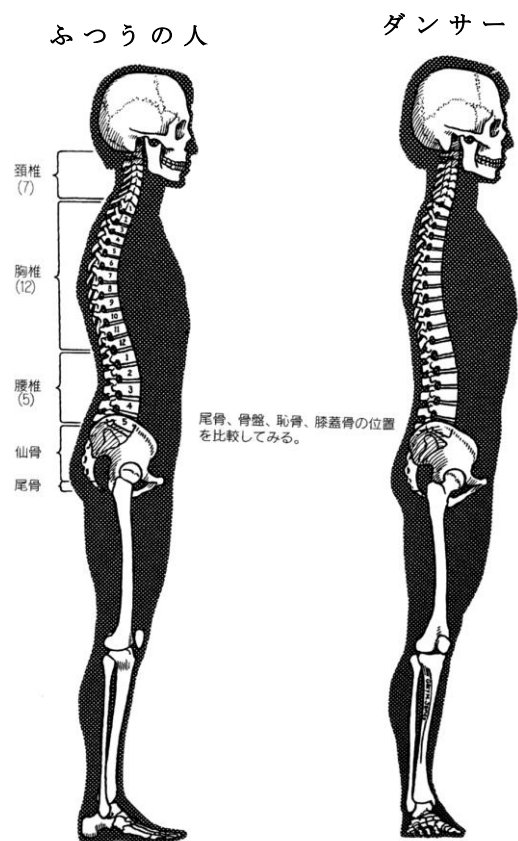


図 4 ふつうの人とダンサーの脊柱の違い（バレエのサイエンス）

うな筋肉をつかって、どのような姿勢をとっているのか、自分自身に落とし込むことを難しくしている。

第2項 脊柱アライメントを保持するための体幹筋の重要性

通常の立位では、仙椎は前下方に平均して約30度傾いている。（正常な仙骨傾斜角）この仙椎傾斜角度は体幹を直立させるために必要な腰椎の伸展（前弯）で、正常な腰椎の彎曲を生み出す（クリッピンガー；2013）。しかし、若いダンサーの中には腰椎過前弯が多く、ときにはターンアウトの訓練を積むことで悪化するとされている。若いバレエダンサーの腰椎伸展による可動域は大きいですが、ダンサー以外の同年齢のものに比較して、腰椎前弯の程度はかなり低いことが報告されている（Livanelioglu et al.1998）。胸部と骨盤は、後方では脊柱とつながっているが、前方では腹筋群とつながっているだけである。こうした構造ゆえに、腹筋群の筋力、静止時の筋長、筋活性度が胸部と骨盤間の距離を決めるうえで重要になる。

バレエ指導者から指摘される「引き上げなさい」という指示の解剖学的解釈は、骨盤への下方付着部が動きの終点となるように腹筋群を収縮させ、望ましい骨盤の中間位と正常な腰椎の彎曲を得るためである。そのためには、バレエ姿勢時における

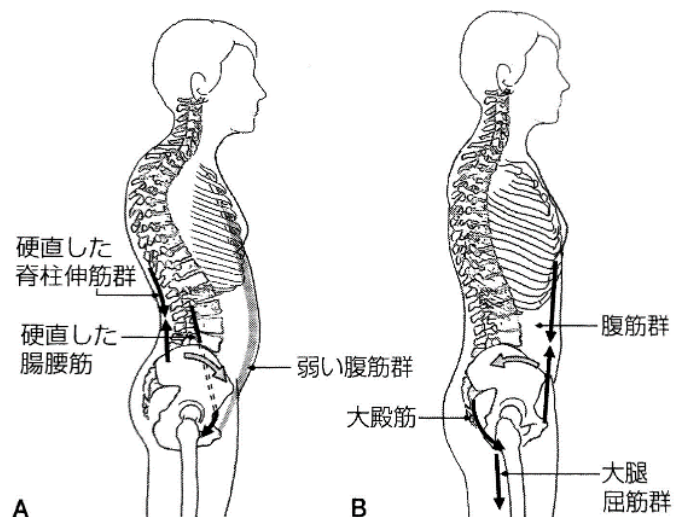


図5 A:腰椎前弯 B:望ましい骨盤の中間位と腰椎前弯を確立するための腹筋群の収縮（ダンスの解剖・運動学大辞典より引用）

る筋活動によって起こる身体的変化を正しく理解することは、正しい脊柱アライメントをどのようにしたら獲得できるのかを理解する上で効果的であると考えられる（図 5）（クリッピンガー，2013）。しかし、クリッピンガーが述べているのは主に腹直筋、大殿筋、腸骨筋（大腰筋）などの大きな動きを作り出すグローバル筋でのシステムの働きであり、彎曲の減少した脊柱を保持するために働くシステムについてはほとんど触れられていない。理由の一つとして考えられるのは、深層部に位置し、ローカル筋に属する腹横筋や多裂筋などがどのような働きをしているのかを調べるのが非常に難しいことが考えられる。

第 6 節 研究方法の選択

特定のスポーツ種目に専門的に取り組むことで、その動作に働く筋肉の形態が変化する結果、筋肉のつき方にはその競技種目の特性が反映すると報告されている（角田ほか，1986；久野ら，2001；星川ほか，2006）。バレエは競技スポーツと同様に長い訓練が必要であり、特定の種目を長期間経験しているスポーツ選手を研究した結果（狩野ほか，2000；大川ほか，2004）と同様に、特有の身体組成や体肢組成を示すと考えられる。バレエ姿勢を保つためには体幹筋が重要な役目を担っていると考えられており（福井，2000；Hass, 2010；クリッピンガー，2013），Peltonen et al.（1998）は思春期後期の女性フィギュアスケート選手、体操選手、バレエダンサーと一般人を比較し、脊柱起立筋と大腰筋横断面積は一般人よりバレエダンサーやスポーツ選手が有意に大きいことを報告している。大腰筋は脊柱のアライメントを保つのに重要な役目があると考えられてい

る (Calais-Garmain, 2014 ; Hu et al. , 2011) が、大腰筋が疲労、過使用などの影響で機能低下すると、体重が本来の重心線から外れたところにかかるなどの問題が起こると報告されている (グリーング, 1997 ; クリッピンガー, 2013) 。

バレエ, 特につま先立ちをするシューズを履いて踊るクラシックバレエでは, 狭い支持基底面内で自身の重心を管理する能力に優れている必要がある (樋口・建内, 2015) 。身体を通過する重心線と各関節軸の距離が近いほど、矢状面において外力である重力により各関節が回転させられる力が小さくなる (樋口・建内, 2015) 。これは関節にとって最も少ないエネルギーで体重を支えることを意味しており、常に狭い支持基底面内で重心を管理することを求められるバレエの動作獲得のためには、可動性のある脊柱をできるだけ重心線に近づけるように鉛直に保つことが必要だと考えられている (クリッピンガー, 2013) 。脊柱のアライメントを形成する生理的彎曲は頸椎、胸椎、腰椎、仙椎の 4 か所であり、それぞれ頸椎前弯、胸椎後弯、腰椎前弯、仙椎後弯と彎曲の方向が異なる。彎曲の方向が異なる脊柱の生理的彎曲を減少させるためには、脊柱に起始部を持つ体幹筋を的確に使う必要があると考えられる。特に大腰筋は腰椎の前弯部に複数の椎体にまたがって位置するため、後方の横突棘筋とともに脊椎の直立にも関与する (Calais-Garmain, 2014) 。近年、大腰筋以外の体幹筋についても研究が進み、体幹部を安定させるためには深部体幹筋群が重要な働きを担っていることが報告がされており (リチャードソンほか, 2008 ; 斎藤, 2007) 、バレエダンサーにおいても体幹筋横断面積の測定が行われるようになってきた (Geldea et al. , 2013; Gildea et al. , 2014; 末吉ほか, 2015) 。Gildea らは、

腰痛や股関節痛のあるダンサーと、ないダンサーでは多裂筋横断面積に差が見られ、脊柱起立筋、大腰筋、腰方形筋横断面積には差がなかったことを明らかにした (Gildea et al., 2013)。また Gildea らはダンサーの腹横筋と内腹斜筋の筋腹の厚さには左右差があるが、腰痛や股関節痛のあるダンサーとないダンサーでは形状には差が見られないとしている (Gildea et al., 2014)。このように、バレエダンサーの体幹筋横断面積について論じられた論文は傷害リスクとの関係性を述べたものが多く、バレエ独特の姿勢保持と体幹筋の関係性について筋横断面積測定から検証を行った先行研究はほとんど見受けられない。また、実際にバレエ姿勢時に、どのような筋肉が働いているかを X 線や CT スキャン、MRI を使って検証した研究は見当たらない。

バレエの動作の起点となる足のポジションは 1 番から 6 番まであり、1 番から 5 番は股関節から続く両下肢を理想的には 180° 開脚 (両足をターンアウト) した状態となる。6 番ポジションのみターンアウトを行わず、下肢全体を閉脚し、両つま先をまっすぐ前方に向けた状態である。5 番ポジションは多く



6 番

5 番

図 6 バレエの足ポジション

のバレエ動作の起点となる足ポジションで、ターンアウトした両脚を前後で重ねて、つま先と反対の足の踵が理想的にはピッタリと重なり合う状態にする (図 6)。先行研究において、バレエダンサーの開眼、閉眼静止立位姿勢時の足圧中心動揺特性について、一般人 (Hugel et al., 1999)、その他の競技スポーツ選手 (Schmit et al., 2005; Perrin et al., 2002; Gerbino et al., 2006) と比較されてい

るものの、バレエ姿勢という不安定な支持局面の動揺特性については検討されていない。また、近年バランス保持能力と体幹筋の関係も指摘されるようになっており (Cosio-Lima et al., 2003; 鈴木ほか, 2009), 鈴木ほか (2009) は、片脚立位時の重心動揺には内腹斜筋、腰部多裂筋の活動が増大し、胸部脊柱起立筋、腰部脊柱起立筋は変化が少ないことを述べている。しかしバレエ姿勢時におけるバランス保持能力と体幹筋との関係は検証されていない。そのため、本研究ではバレエ特有の立位姿勢保持と体幹筋の発達特性について、脊柱アライメント変化を X 線撮影像にて、体幹筋断面積を CT 撮影像から、また、重心動揺測定から体幹筋の発達とバランス能についての検証を試みることで、バレエ姿勢の定量的な解析を試みることにした。

第 7 節 論文の構成

本論文は 7 章構成である。第 1 章では先行研究の検討を通じて、方法論的立場と研究方法を明確にする。第 2 章において、バレエ姿勢の脊柱アライメント変化や体幹筋横断面積から、バレエ姿勢に必要な体幹筋の定量的検証を試みる。定量的研究はまず、バレエ経験者、未経験者の身体特性について検証し、通常立位姿勢からバレエ姿勢へと姿勢を変化させた場合の脊柱アライメント変化と体幹筋横断面積の関係、ならびに体幹筋横断面積とバランス能との関連の検証を行い、X 線撮影像、CT 撮影像からバレエ姿勢の解析が可能であるかの検証を行う。3 章では脊柱アライメント変化、体幹筋発達特性からバレエ姿勢ができていない被験者とそうでない被験者をクラスター解析によるグループ分けを行い、バレエ姿勢には体幹筋のどの部分が重要であるかの検討を行う事とした。4 章ではプロフェッショナルダ

ンサーによる通常姿勢とバレエ姿勢の違いを全体幹 CT 撮影像から定量的検証をおこない、バレエ姿勢時にはどのように体幹筋が使われているのか、どのような身体的な変化が起きているのかの検証を行う。5章では体幹の安定性とバランス能についての検証を行い、バレエ姿勢による腰椎の安定性はバランス保持能力に違いを与えているのかについて検討を行うこととした。これらの検証結果をもとに、6章においてバレエ姿勢について様々な角度から考察し、バレエ姿勢の科学的解析の一助となるための結果の報告、ならびにバレエ現場への提言が可能であるかの検証を行う事とする。

第 2 章 バレエ経験者の身体特性と体幹筋発達特性との関連性

第 1 節 はじめに

幼少期から訓練を継続してきたバレエ経験者と、バレエ未経験者を対象に、体幹筋横断面積に着目し、脊柱アライメント変化と重心動揺測定から検証を行い、バレエ特有の立位姿勢保持能力を定量的に評価することは可能であると考えられる。そこで、本研究では次の 3 点について、検証を行う事とした。1 点目は身体特性と体幹筋横断面積との関係性である。体幹筋横断面積と身体特性との関わりを検証し、バレエと体幹部筋発達特性との相関を検証する。2 点目は体幹部をリラックスさせた状態から、バレエ姿勢へ脊柱アライメントを変化させた場合、仙椎傾斜角度、腰椎前弯角の角度変化量と体幹筋横断面積の測定結果から、脊柱アライメント変化と体幹筋発達特性との関係性を検証する。3 点目はバレエの足ポジションである 6 番と 5 番における重心動揺を測定し、ターンアウト時のバランス保持能力と体幹筋横断面積との関係性を検証する。以上 3 点のバレエ姿勢と体幹筋発達特性との関連性から、バレエ姿勢の定量的解析を試みる。

第 2 節 方法

第 1 項 被験者

被験者は幼少期にバレエ指導を受け始め、コンクールでの入賞歴を持ち、プロフェッショナルとして舞台に立つ者 2 名 A、

B (週 6 日レッスンを継続中) とバレエ愛好家として幼少期に指導を受け始め、現在バレエ教室にて練習および舞台活動を継続中であり、

表 1 被験者の身体特性

	女性(N=5)
年齢(歳)	30.2±1.26
身長(cm)	158.5±0.95
体重(kg)	44.9±3.07
BMI	17.8±1.16
バレエ経験(年)	24.3±4.35(Eを除く)

難易度の高いバレエ作品を踊れる者 2 名 C、D（週 5 日レッスンを継続中）の 4 名（バレエ経験者）およびバレエ経験のない者 E（バレエ未経験者）の計 5 名（いずれも女性）とした。身体特性は表 1 に示す。各被験者には事前に本研究の主旨、実験に関する情報、または影響について口頭と文書で説明したうえで実験参加の同意書に署名を得た。猫山宮尾病院倫理審査委員会（承認番号 2013-NR-026）での承認を受け、CT、X 線撮影は医師の指導のもと、当該医療機関において診療放射線技師により実施された。

第 2 項 CT 撮影像からの体幹筋横断面積測定

体幹筋横断面積計測用 CT 画像は日立メディコ社製、ECLOS にて、仰臥位、臍位での撮影を行った。取得した横断面像を PC 画面上で画像解析ソフト Image-J に取り込み、トレース後、以下に示す筋群の横断面積を算出した。計測は 1 人の検者が行った。この検者が事前に 2 名の被験者を対象に、取得した横断面像に対して 5 回の筋横断面積値を求めたところ、その変動係数はいずれの被験者にお

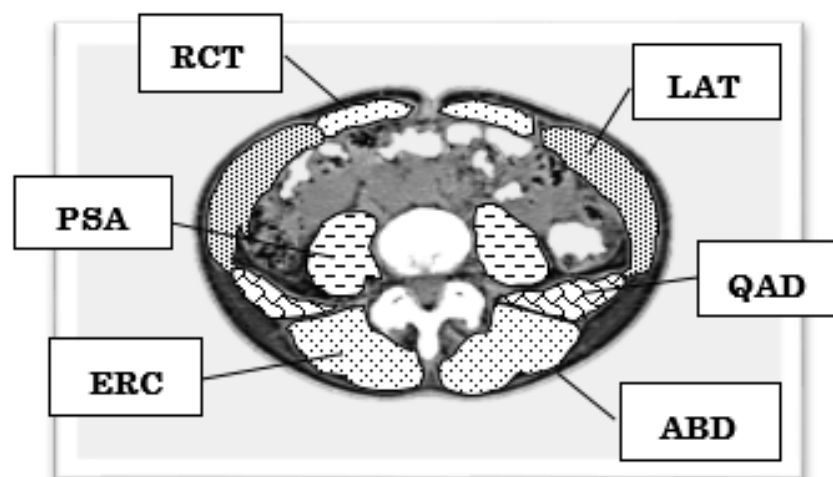


図 7 体幹筋横断面（臍レベル）

RCT: 腹直筋、LAT: 側腹筋、PSA: 大腰筋、QAD: 腰方形筋、ERC: 脊柱起立筋群、ABD: 全腹部横断面

いても 1% 未満であり、高い精度で計測できる技術を有していることが確認された。境界が明確である腹直筋（以下「RCT」と略す）、大腰筋（以下「PSA」と略す）、および腰方形筋（以下「QAD」と略す）はそれぞれの筋横断面積を算出した。内腹斜筋、外腹斜筋および腹横筋は合わせて側腹筋（以下「LAT」と略す）とした。同様に、背部の脊柱起立筋を形成する腰長筋、最腸筋、棘筋および多裂筋は脊柱起立筋群（以下「ERC」と略す）として算出した（大川ほか，2004）。なお断層撮影像全体を腹部総横断面積（以下「ABD」と略す）として計測を行った（図 7）。各筋横断面積の実測値を絶対値とし（以下、各筋の横断面積絶対値を「-A」と略す）、また、ABD に対する各筋横断面積の比率を算出し、相対値を求めた（以下、各筋の横断面積相対値を「-R」と略す）。

第 3 項 X 線撮影像による脊柱アライメントの評価

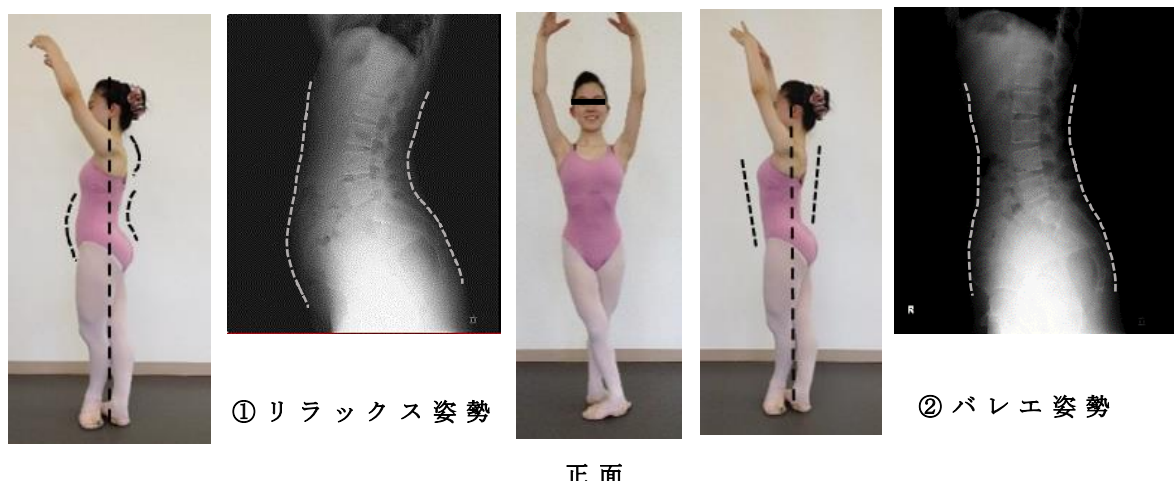


図 8 脊柱 X 線撮影時におけるリラックス姿勢ならびにバレエ姿勢のポジション

骨盤から脊柱にかけての X 線撮影を側方から行い、静的立位姿勢における矢状面での脊柱アライメント評価を行った。この際目線の

高さで前方を注視させ、①腹部を緊張させず、通常の立位状態に近い脊柱アライメントを保持した状態（以下「リラックス姿勢」と略す）②バレエ姿勢の2枚の撮影を行った。上肢は矢状面からの撮影に写り込まないようにするため、頭上で緩やかに

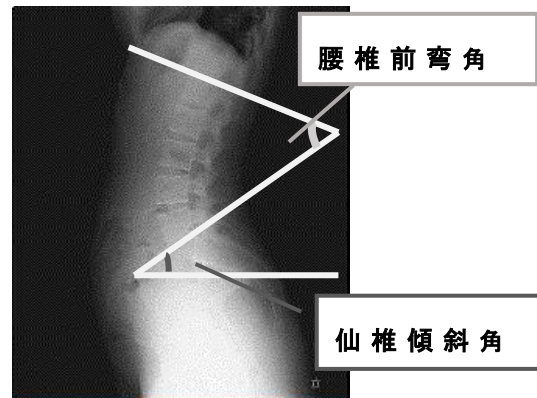


図9 脊柱アライメント評価

楕円を描くように腕を挙上したバレエのアンオーポジションとした。また脚は各自が安定して楽に立てると感じる5番ポジションとし、撮影①と②で上肢、下肢の状態が同じになるようにした（図8）。バレエ未経験者に対しては、口頭と文書でバレエ経験者と同じようなポジションにできるだけ近くなるように指示した。得られたX線撮影像をPCに取り込み、仙椎傾斜角（以下「SIA」と略す）と腰椎前弯角（以下「LLA」と略す）を算出し、脊柱アライメントの評価とした。計測はCT撮影像と同様に、1人の検者が実施した。SIAは第1仙椎上縁と水平線とのなす角、またLLAは第1腰椎上縁と第1仙椎上縁とのなす角とした（三谷・森北，2008；佐々木，2001）（図9）。SIA，LLA各角度を測定し、リラックス姿勢からバレエ姿勢へ脊柱アライメントを変化させた場合のそれぞれの角度変化量および合計角度変化量を求めた。

第4項 重心動揺測定

重心動揺は、4点式荷重センサーを持つ足圧中心（以下「COP」と略す）動揺計（バランスWiiボード，任天堂社製；以下「Wiiボ

ード」と略す)により測定を行った。Wii ボードは安価な COP 動揺計であるが、静止立位姿勢の重心動揺計としての妥当性、信頼性が認められている (Clark et al., 2010)。測定はターンアウト時のバランス保持能力を検証するために、6 番ポジションと 5 番ポジションにて 15 秒間の重心動揺測定を 4 試行実施し、出村ほか (2001)の方法をもとに、1 回目の試行を除き、残り 3 試行の平均値を代表値とした。本実験での足のポジションは各自が通常のパレエのレッスンと同程度の脚位置だと感じるものとし、腕のポジションは軽く肘を曲げて緩やかに楕円を描くように下垂させたパレエのアンバーポジションとした。重心動揺のパラメータは動揺速度 (cm/s)、矩形面積 (cm²)、実効値面積 (cm²) を選択した (出村ほか, 2001)。6 番ポジションでの重心動揺各パラメータ値を 100%とし、そこから 5 番ポジションに足位置を変化させた場合の各パラメータにおける変化率 (以下「パラメータ変化率」とする) を算出した。

第 5 項 統計学的処理

統計学的処理には統計ソフト R (version 2.15.3) を使用した。体幹筋横断面積と身体特性、脊柱アライメント角度変化量、重心動揺各パラメータ並びにパラメータ変化率との関係を検証するために、Pearson の積率相関係数を算出した。危険率 5%未満を統計的有意水準とした。

第 3 節 結果

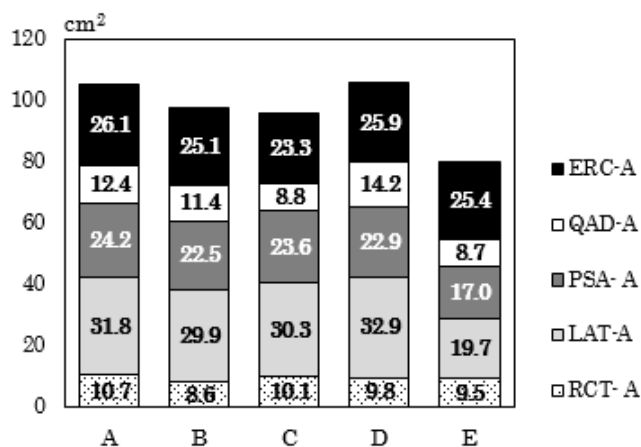


図 10 体幹筋横断面積実測値

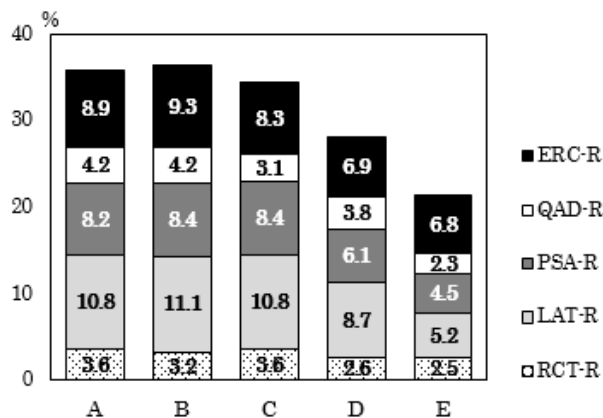


図 11 体幹筋横断面積相対値

表 2 身体特性と体幹筋横断面積との相関

	RCT-A	LAT-A	PSA-A	QAD-A	ERC-A	ABD-A	RCT-R	LAT-R	PSA-R	QAD-R	ERC-R
身長	-0.46	-0.84	-0.85	-0.47	0.10	0.21	-0.53	-0.60	-0.51	-0.46	-0.16
体重	-0.53	-0.71	-0.80	-0.09	0.54	0.84	-0.72	-0.93*	-0.92*	-0.61	-0.76
BMI	-0.48	-0.62	-0.71	-0.01	0.58	0.87	-0.69	-0.89*	-0.90*	-0.57	-0.79
RCT-A		0.69	0.76	0.50	0.30	-0.65	0.69	0.60	0.77	0.90*	0.80
LAT-A			0.96*	0.70	0.04	-0.42	0.50	0.82	0.70	0.83	0.45
PSA-A				0.50	-0.12	-0.61	0.73	0.92*	0.85	0.79	0.61
QAD-A					0.70	0.19	-0.14	0.28	0.10	0.73	0.01
ERC-A						0.48	-0.43	-0.27	-0.37	0.33	-0.21
ABD-A							-0.88*	-0.86	-0.94*	-0.53	-0.96*
RCT-R								0.83	0.90*	0.45	0.81
LAT-R									0.98*	0.80	0.86
PSA-R										0.71	0.91*
QAD-R											0.70
ERC-R											

*; $p < 0.05$

第 1 項 身体特性と体幹筋横断面積との関係性

CT 撮影像による筋横断面積測定結果については絶対値を図 10、相対値を図 11 に示す。筋横断面積の合計値は、絶対値 (-A)、相対

値 (-R) ともバレエ未経験者に比べ、バレエ経験者が大きい傾向にあり、特に LAT と PSA が大きい傾向を示した。表 2 は体格項目と筋横断面積 (絶対値, 相対値) との相関を示す。体重と BMI は LAT-R および PSA-R と有意な高い負の相関が認められた ($r = -0.88 \sim -0.93$)。また、ABD-A と各筋横断面積の相対値は負の相関を示し、RCT-R、PSA-R、ERC-R はそれぞれ、ABD-A と有意な高い負の相関関係にあった ($r = -0.88 \sim -0.96$)。PSA-R は、QAD-R を除く各筋横断面積の相対値と有意な高い正の相関が認められた ($r = 0.90 \sim 0.98$)。

第 2 項 SIA, 及び LLA の変化量と体幹筋横断面積

リラックス姿勢とバレエ姿勢とで、仙椎傾斜角 (SIA) と腰椎前弯角 (LLA) の平均値には有意差が認められなかったが、バレエ経験者はリラックス姿勢からバレエ姿勢になると、SIA、LLA とともに減少し、両角度の合計変化量から脊柱の生理的弯曲が減少することが確認された (表 3)。これに対し、バレエ未経験者では SIA が減少したものの LLA には増加がみられ、両角度の合計変化量はゼロであった。各筋横断面積の絶対値、相対値と SIA, LLA 各変化量との相関を算出した結果、LLA と LAT-A ($r = -0.91$)、LLA と PSA-A ($r = -0.95$)

表 3 リラックス姿勢ならびにバレエ姿勢時における SIA (仙椎傾斜角) LLA (腰椎前弯角) と総角度変化

	SIA (°)			LLA (°)			総角度変化 ③+⑥
	① リラックス 姿勢	② バレエ 姿勢	③ 差 ①-②	④リラックス 姿勢	⑤バレエ 姿勢	⑥ 差 ⑤ - ④	
A	65	48	-17	70	50	-20	-37
B	30	29	-1	37	30	-7	-8
C	44	42	-2	64	50	-14	-16
D	43	37	-6	55	41	-14	-20
E	45	41	-4	55	59	4	0

において有意な負の相関が認められた（表 4）。

第 3 項 重心動揺と体幹筋横断面面積

6 番と 5 番足ポジションにおける重心動揺の各パラメータと体幹筋横断面面積の絶対値および相対値との相関を算出した結果、6 番ポジションでは有意な相関が認められなかった。5 番ポジションでは実効値面積と ABD-A との間に有意な正の相関 ($r = 0.91$) が、ERC-R との間に有意な負の相関 ($r = -0.98$)

表 4 脊柱アライメント角度と体幹筋横断面面積との相関

	SIA	IIA
RCT-A	-0.62	-0.74
LAT-A	-0.30	-0.91*
PSA-A	-0.34	-0.95*
QAD-A	-0.43	-0.55
ERC-A	-0.60	-0.04
ABD-A	-0.02	0.42
RCT-R	-0.33	-0.67
LAT-R	-0.15	-0.77
PSA-R	-0.12	-0.69
QAD-R	-0.38	-0.70
ERC-R	-0.13	-0.44

*; $p < 0.05$

表 5 体幹筋横断面面積と重心動揺パラメータとの相関

	6 番ポジション			5 番ポジション		
	移動速度	矩形面積	RMS 面積	移動速度	矩形面積	RMS 面積
RCT-A	-0.03	-0.25	-0.64	-0.63	-0.48	-0.77
LAT-A	0.51	0.50	0.10	0.11	0.24	-0.28
PSA-A	0.51	0.31	-0.08	0.01	0.03	-0.45
QAD-A	-0.01	0.52	0.16	-0.03	0.41	0.07
ERC-A	-0.70	-0.05	-0.22	-0.43	0.05	0.12
ABD-A	-0.44	0.37	0.53	0.42	0.65	0.91*
RCT-R	0.28	-0.32	-0.54	-0.31	-0.53	-0.75
LAT-R	0.56	0.05	-0.28	-0.21	-0.27	-0.73
PSA-R	0.53	-0.11	-0.38	-0.28	-0.42	-0.81
QAD-R	0.21	0.10	-0.31	-0.42	-0.18	-0.61
ERC-R	0.27	-0.44	-0.66	-0.62	-0.72	-0.98*

*; $p < 0.05$

が認められた（表 5）。6 番ポジションから 5 番ポジションへ足位置を変化させると、バレエ未経験者と比較して、バレエ経験者の動揺速度、矩形面積、実効値面積は小さい傾向が窺えた（表 6）。特に、バレエ経験者の矩形面積、実効値面積の動揺範囲を示す変数は、5 番ポジションの方が小さい傾向を示した。また、パラメータ変化率と絶対値、相対値との相関を求めた結果、矩形面積—ABD-A に正の相関（ $r =$

表 6 重心動揺パラメータ変化率

	動揺速度 (%)	矩形面積 (%)	RMS面積 (%)
A	8.7	-17.8	0.0
B	-0.3	-32.1	-55.3
C	18.3	-9.6	-22.0
D	27.9	3.1	2.3
E	26.0	21.9	32.2

表 7 体幹筋横断面積と重心動揺パラメータ変化率との相関

	動揺速度 (%)	矩形面積 (%)	RMS面積 (%)
RCT-A	-0.76	-0.83	-0.28
LAT-A	-0.31	-0.66	-0.20
PSA-A	-0.43	-0.74	-0.25
QAD-A	-0.05	-0.26	0.14
ERC-A	0.03	0.13	0.42
ABD-A	0.86	0.88*	0.74
RCT-R	-0.62	-0.70	-0.34
LAT-R	-0.72	-0.93*	-0.58
PSA-R	-0.77	-0.92*	-0.62
QAD-R	-0.69	-0.85	-0.41
ERC-R	-0.96*	-0.95*	-0.73

*: $p < 0.05$

0.88) が、動揺速度—ERC-R、矩形面積—LAT-R、矩形面積—PSA-R、矩形面積—ERC-R に有意な負の相関があり、相関係数は $r = -0.92 \sim -0.96$ であった。すなわち 6 番ポジションから 5 番ポジションに足位置を変化させると、ABD-A が大きい場合は重心動揺パラメータが大きくなって不安定になり、ERC, LAT, PSA の筋横断面積相対値が大きい場合は小さくなり、安定していることがわかった（表 7）。

第 4 節 考察

第 1 項 身体特性と体幹筋横断面積との関係性

本研究の被験者の体重と BMI は、バレエ未経験者（体重 54.5 kg, BMI 21.1）を含めても、それぞれ 44.9 ± 3.07 (kg)、 17.8 ± 1.16 であり、一般的な皮瘦度判定基準からすると「極度の痩せ」に分類されるが、バレエ経験者の筋肉量は運動をしない一般人と比較して多い傾向にあると考えられる (Peltonen et al., 1998)。ABD-A と各筋横断面積の相対値が負の相関を示しているのは、ABD-A に含まれる脂肪組織の面積が影響していると考えられる。体重と BMI も一部の筋の相対的横断面積と負の相関を示したことから、本研究の被験者においては体重、BMI の低い者ほど腹部の筋量が相対的に多かったと考えられる。

バレエ経験者は、大腰筋 (PSA) と側腹筋 (LAT) の筋横断面積が大きい傾向にあった。バレエでは脚を高い位置に保持する動作が多く、90 度を超える股関節の屈曲や外転、特に高位での外転を PSA が補助することが知られている (クリッピンガー, 2013; Calais-Garmain, 2014)。また、PSA の筋横断面積相対値は腹直筋 (RCT)、側腹筋 (LAT)、脊柱起立筋群 (ERC) の各筋横断面積相対値とも高い相関を示している。そのため、バレエにおける姿勢の保持や動作を行う上でそれらの筋肉と連携し、PSA は重要な役割を果たしている可能性が考えられた。

第 2 項 SIA 及び LLA 変化量と体幹筋横断面積の関係性

バレエ経験者はリラックス姿勢からバレエ姿勢へ変化させた場合、仙椎部と腰椎部で脊柱の生理的彎曲が減少していた。体幹筋横断面

積と脊柱アライメント角度変化の相関を検討した結果、LLA 変化量と LAT-A、PSA-A との間に負の相関があることがわかった。PSA は腰椎の前弯部に複数の椎体にまたがって位置するため、後方の横突棘筋とともに脊椎の直立にも関与する (Calais-Garmain, 2014) と先行研究で述べられている。ゆえに、PSA は脊柱に起始部を持っている深部筋であり、腰椎に直接作用し姿勢を変化させることが可能である。同様に LAT を構成する外腹斜筋は第 5—第 12 肋骨の前外側部に起始が、腸骨稜の前方に停止があり (クリッピンガー, 2013), 骨盤が固定されている場合、肋骨を下げることによって姿勢を変化させる働きがある (クリッピンガー, 2013; Calais-Garmain, 2014)。本研究において、体幹筋横断面積の絶対値で有意な相関が確認されたのは PSA と LAT のみであった。また、PSA と LAT の絶対値が他の被験者よりも大きかった被験者 (A 及び D) は、立位姿勢の変化に伴う SIA と LLA の合計角度変化量が大きかったことから、脊柱に直接作用し、姿勢を変化させる PSA、LAT の絶対値の大きさは SIA、LLA 変化量に関係する可能性が考えられた。

一方で、LAT を構成する腹横筋、外腹斜筋、内腹斜筋は腹腔内圧と大きく関わっており (リチャードソンほか, 2008)、クリッピンガー (2013) は腹腔内圧がバレエ姿勢に関わっていると述べている。Cholewicki et al. (1999) は生体モデルを活用して理論的計算によって、RCT、ERC、腹腔内圧上昇の 3 点が機能することで、脊柱の安定性がより増すことを示している。本研究において、PSA-R と RCT-R、LAT-R、ERC-R との間にそれぞれ有意な正の相関が確認されたことから、脊柱アライメント変化への関与を探るには、体幹筋横断面積の絶対値、相対値両方からの検討が望ましいと思われる。

第3項 重心動揺と体幹筋横断面積との関係性

重心動揺測定のパラメータと体幹筋横断面積との相関を求めた結果、6番ポジションにおいて相関は確認されなかったが、5番ポジションでは実効値面積と ABD-A との間に有意な正の相関が、ERC-R との間に有意な負の相関があることがわかった。バレエ経験者は5番ポジションでの姿勢を長年訓練してきており、5番ポジションで COP をできるだけ重心線近くに留めるように体幹筋が発達した可能性が考えられる。ERC の一部を形成する多裂筋には筋紡錘が多く存在することから、脊柱の分節間の運動や位置変化を中枢神経系に伝えることが注目されている（リチャードソンほか，2008）。種本・渡邊（2012）によれば、筋には収縮—弛緩といった運動を行う効果器としての役割だけでなく、身体に関する情報を中枢神経系へと伝達する役割があり、体幹深部筋が有効に収縮できると、バランスが安定する可能性を述べている。

6番ポジションでの重心動揺各パラメータ値を100%とし、そこから5番ポジションに足位置を変化させた場合のパラメータ変化率をみると、被験者 A は動揺速度が9%増加、B は無変化、他のすべての被験者は20%近くか、それ以上の増加がみられた。動揺速度の増加は、バランスの悪化を意味する場合と、意味のある揺らぎによってバランスを維持しようとする両方の可能性が考えられる（樋口・建内，2015）。また、姿勢変化に伴い被験者 A、B、C は矩形面積、実効値面積は減少、D は僅かな増加、E は20%以上の増加が見られた。D、E はすべてのパラメータが増加したことから、バランスの悪化が示唆された。矩形面積の減少は COP 動揺面積が減少を示すことであり、A、B、C は5番ポジションで安定性が高くなる可能性が示

された。しかし、矩形面積は一度でも大きく動揺が起これば広くなる傾向があるため、COP がどの程度同じ位置に留まっていたかを表現している実効値面積も動揺の指標として観察することが重要だと思われる。その結果、B、C は実効値面積が 5 番ポジションで大きく減少していることが確認され、5 番ポジションで COP をより安定して保持できる可能性が示された。しかし、これを結論づけることは本研究の限界をこえており、今後の課題としてサンプルサイズを大きくし、バレエ経験者と未経験者の群間比較や、バレエ経験者の中で、スキルレベル群間比較をすることで、この仮説を検証する必要がある。

また、重心動揺測定 of 各パラメータ変化率と体幹筋横断面積の絶対値、相対値との相関関係をみると、矩形面積変化率と有意な正の相関があったのは ABD-A であり、LAT-R、PSA-R、ERC-R との間には有意な負の相関が確認された。それら体幹筋群の横断面積が相対的に小さいと姿勢保持やバランス保持に影響が出るのではないかと前述したとおり、筋の相対値の大きさが立位姿勢の安定性に寄与する可能性が示された。

第 3 章 体幹筋発達特性とバレエ姿勢

第 1 節 はじめに—バレエ姿勢で働く体幹筋—

第 2 章で論じたように、体幹筋横断面積とバレエ姿勢とには相関がある可能性がある。特に腹直筋(RCT)、大腰筋(PSA)、側腹筋(LAT)は脊柱アライメント変化に関わる筋肉であり、仙椎傾斜角(SIA)、腰椎前弯角(LLA)との相関が見られた。本セクションでは、バレエ姿勢ができる被験者とそうでない被験者とでは体幹筋横断面積にはどのような違いがあるのか論じてみたい。

バレエとは、長い間、特殊な環境下で幼少期から訓練された人たちが踊るもので、趣味として踊るダンスではないと思われてきた。プロフェッショナルバレエダンサーは 40 代になるとほとんど一線から引退し、その後は体調を維持する程度のレッスンはしても、バレエを老化防止や体力維持・増進のために継続することは稀である。世界でトップクラスのバレエ団であるパリオペラ座のダンサーの定年は 42 歳である。つまり、どのような厳しい訓練を積んだとしても、バレエでは加齢による体力の限界は 40 代になれば明らかになるのであろう。しかし、近年バレエ教室や、スポーツジムで成人初心者を対象としてクラスが開講されることが多くなり、特に中高年バレエ愛好者が増加している。成人からのバレエ愛好者は、芸術としてのバレエを舞台上で踊ることよりも、運動としてバレエを楽しむためにクラスに参加している。しかし、芸術としてのバレエを目指さない場合でも、バレエ姿勢の獲得は最低限達成しなければならない目標でもある。一般的に正しいとされるバレエ姿勢を保持することができれば、上達する可能性があるのはどのレベル、どの年代でも同じであろうと考える。成人バレエ愛好家の中には、中高年から始めたとは思えないほど、技

術を習得する者もいる一方で、多くの場合、基本であるバレエ姿勢ができないため、技術の習得に困難が生じ、怪我を繰り返しているものもいる。このセクションでは第 2 章に参加したバレエ被験者と成人バレエ愛好家のバレエ姿勢時における脊柱アライメント変化と体幹筋横断面積との検証を試み、バレエ姿勢における体幹筋の定量的解析や形状などを検証することからバレエ姿勢の解析を試みることにする。

第 2 節 方法

第 1 項 被験者の選定

バレエ経験者女性 4 名と成人からバレエを始めた成人バレエ愛好家 5 名を被験者とした。被験者の身体特性とバレエ経験年数を表 8 に示す。

表 8 被験者の身体特性並びにバレエ経験

	バレエ経験者 (N = 4 : A~D)	成人バレエ愛好家 (N = 5 : E~I)
年齢 (歳)	30.2 ± 1.26	57 ± 4.81
身長 (cm)	158.5 ± 0.95	158.2 ± 3.25
体重 (kg)	44.9 ± 3.07	47.2 ± 2.31
BMI (kg/m ²)	17.88 ± 1.16	18.89 ± 1.36
バレエ経験(年)	24.3 ± 4.35	12.0 ± 6.78

第 2 項 脊柱アライメント変化評価並びに体幹筋横断面積測定

脊柱アライメント変化の評価と体幹筋横断面積測定方法は第 2 章に示した方法と同様に測定を行った。ただし、体幹筋横断面積においては、第 2 章の結果からバレエ姿勢にあまり相関が見られなかった脊柱起立筋 (ERC) と腰方形筋 (QAD) は分けて解析せず、背部筋 (DOL) とした。

第 3 項 クラスタ解析

仙椎傾斜角（SIA）、腰椎前弯角（LLA）の角度変化量がバレエ姿勢の違いを反映するかを検討するためにウォード法にてクラスタ解析を行い、変化量から姿勢の違いによるグループ分けを行った。分けられたクラスタについて、統計ソフト R にて一元配置分析を行い、クラスタ間に差があるかの検討を行い、危険率 5% 未満を統計的有意水準とした。

第 3 節 結果

第 1 項 SIA、および LLA の変化量と体幹筋横断面積

SIA と LLA の変化量について表 9 に示す。バレエ経験者 A~D はリラックス姿勢からバレエ姿勢へ脊柱アライメントを変化させると、SIA ならびに LLA が減少し、脊柱の角度の減少が見られた。一方で成人バレエ愛好家 E~I のうち合計変化量が減少したのは、G のみで、残りの被験者は合計変化量の増加が見られ、自分では引き上げているつもりでも、脊柱アライメントの角度が増加していることが確認された。

表 9 角度実測値および変化量

被験者	グループ クラスタ	SIA [°]			LLA [°]			合計角度変化 ① + ②
		リラックス	バレエ	変化量①	リラックス	バレエ	変化量②	
A	1	65	48	-17	70	50	-20	-37
B	1	30	29	-1	37	30	-7	-8
C	1	44	42	-2	64	50	-14	-16
D	1	43	37	-6	55	41	-14	-20
E	2	47	49	2	51	54	-3	5
F	2	39	46	7	51	56	5	12
G	1	42	42	0	50	46	-4	-4
H	2	42	49	7	52	58	6	13
I	2	46	51	5	55	62	7	12

第 2 項 クラスター間の違いについての検証

SIA, LLA 各変化量をクラスター解析の結果, 被験者はクラスター 1, クラスター 2 に分類された. クラスター 1 は SIA, LLA の生理的弯曲が減少したクラスターであり, クラスター 2 は SIA, LLA ともに角度が上昇していた. それぞれの平均値, 標準偏差および一元配置分散分析を行った結果を表 3 に示した. クラスター 1 とクラスター 2 において SIA ($p < 0.05$) と LLA ($p < 0.01$) に有意な差があることがわかった.

表 10 クラスター間の一元配置分散分析の結果

	クラスター 1	クラスター 2	有意差
SIA[°]	-5.2±7.0	5.3±2.4	*
LLA[°]	-11.8±6.3	5.3±1.7	**

平均値±標準偏差, *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

第 3 項 体幹筋横断面積と SIA、LLA との相関関係

各被験者の体幹筋横断面積実測値と相対値の結果を図 12 に示す。

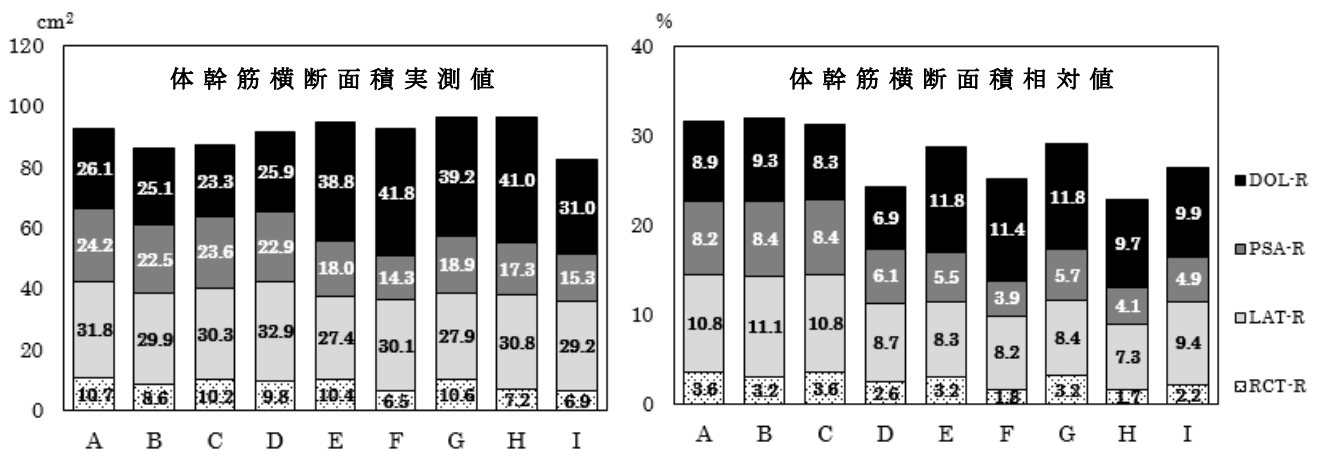


図 12 体幹筋横断面積実測値並びに相対値

体幹筋実測値では、バレエ経験者と成人からのバレエ経験者の筋肉量は大きな差があるとは言えない。しかし、腹筋よりも背部筋の量が多いことがわかる。また、腹部総断面積からの相対値では、バレエ経験者の筋相対値が大きいことがわかる。

体幹筋実測値ではバレエ経験者と成人からのバレエ愛好家の筋肉量に大きな違いがあるとは言えない(図 12)。全体的な筋肉量をみると、むしろ成人からのバレエ愛好家の方が多いように見受けられる場合もある。しかし、腹直筋 (RCT-A)、大腰筋 (PSA-A) よりも背部筋 (DOL-A) の量が多いことがわかる。また、腹部総断面積からの相対値では、バレエ経験者の筋横断面積の相対値が大きいことがわかる。実測値でも相対値からも、バレエ経験者の筋のバランスが良いことがわかる。成人からのバレエ愛好家は実測値、相対値とも、背部筋 (DOL) の横断面積が大きい事がわかった。

各筋横断面積の絶対値、相対値と SIA, LLA 各変化量との相関を算出した結果, SIA, LLA とともに PSA-A (SIA: $r = -0.801$, LLA: $r = -0.886$)、RCT-R (SIA: $r = -0.717$, LLA: $r = -0.749$)、PSA-R (SIA: $r = -0.723$, LLA: $r = -0.809$) に有意な負の相関が見られた。また、LLA と LAT-R ($r = -0.677$) において同様に有意な負の相関が認められた。相関が認められた RCT-R、LAT-R、PSA-R について、クラスター間で t 検定にて差を求めたところ、RCT-R と PSA-R に差があることがわかった (図 13)。

表 11 SIA ならびに LLA 変化量と体幹筋横断面積との相関

	SIA	LLA
ABD-A	0.428	0.453
REC-A	-0.413	-0.164
LAT-A	-0.493	-0.578
PSA-A	-0.801**	-0.886**
DOL-A	0.276	0.268
REC-R	-0.717*	-0.749*
LAT-R	-0.613	-0.677*
PSA-R	-0.723*	-0.809**
DOL-R	-0.564	-0.540

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

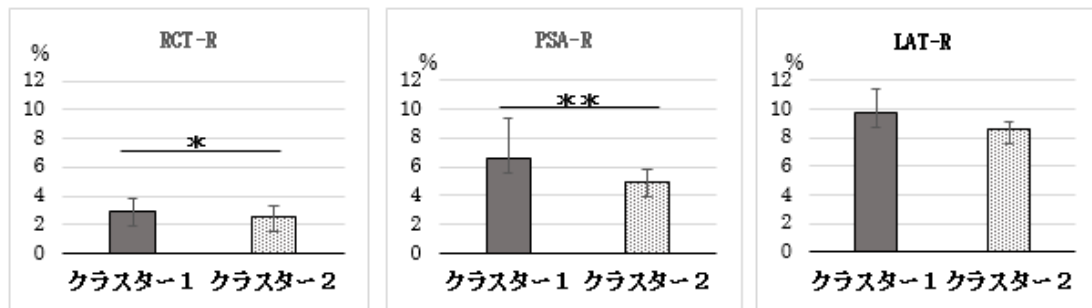


図 13 各クラスターにおける腹直筋相対値 (RCT-R)、大腰筋相対値 (PSA-R)、側腹筋相対値 (LAT-R)
 RCT-R では $p < 0.05$ で、PSA-R では $p < 0.01$ でクラスター間に有意な差があることがわかった。

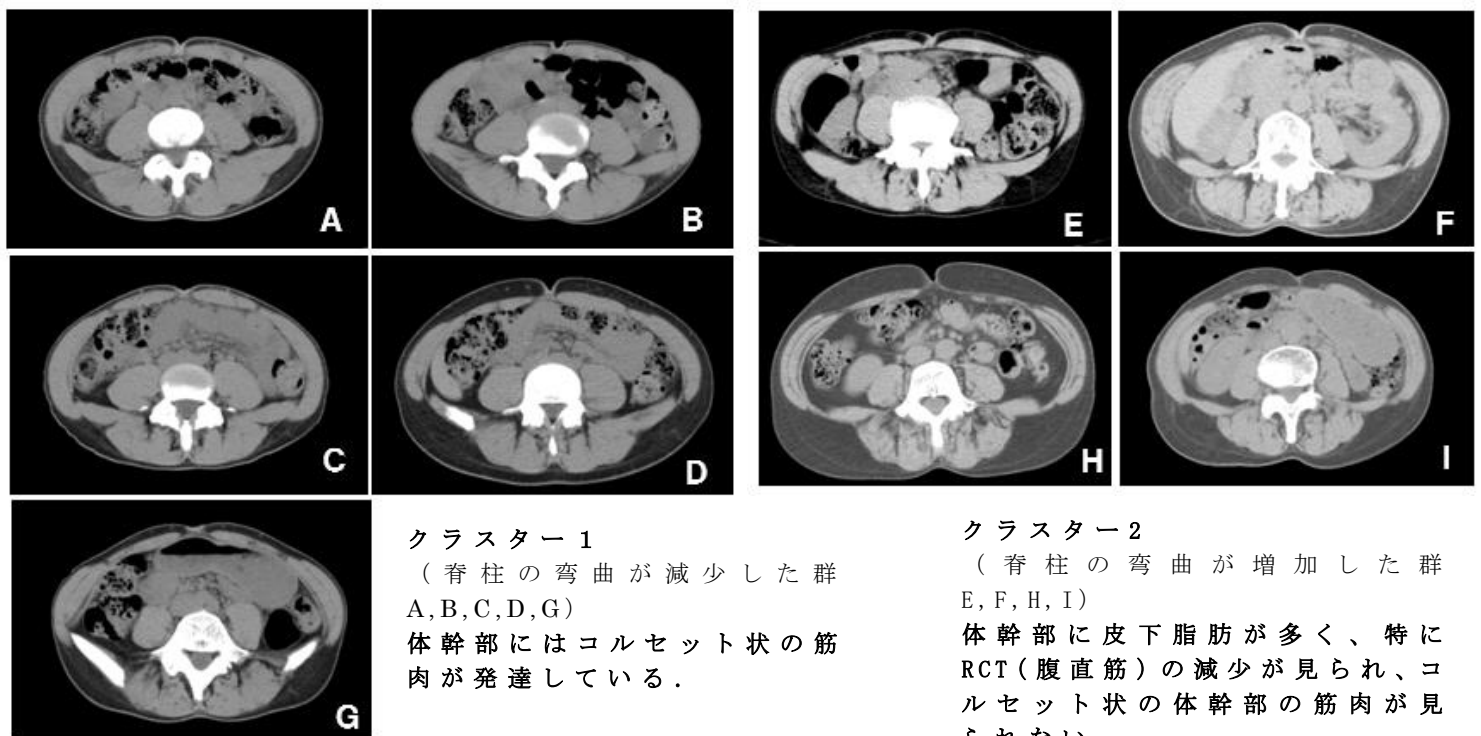


図 14 クラスター1,2 体幹筋横断面の形状

クラスター1 とクラスター2 の CT 撮影像を検証してみると (図 14)、バレエ姿勢がとれていると考えられるクラスター1 の体幹筋横断面積の形状は、コルセットのように腹腔を取り囲むように発達している様子が観察されたが、クラスター2 においては腹腔を取り囲む筋のバランスの悪さが見うけられた。加齢による体幹筋の減少、又は

経験不足による影響も考えられたが、これらの体幹筋のバランスの悪さがバレエ姿勢を正しくとることができない 1 つの原因である可能性が示唆された。

第 4 節 考察

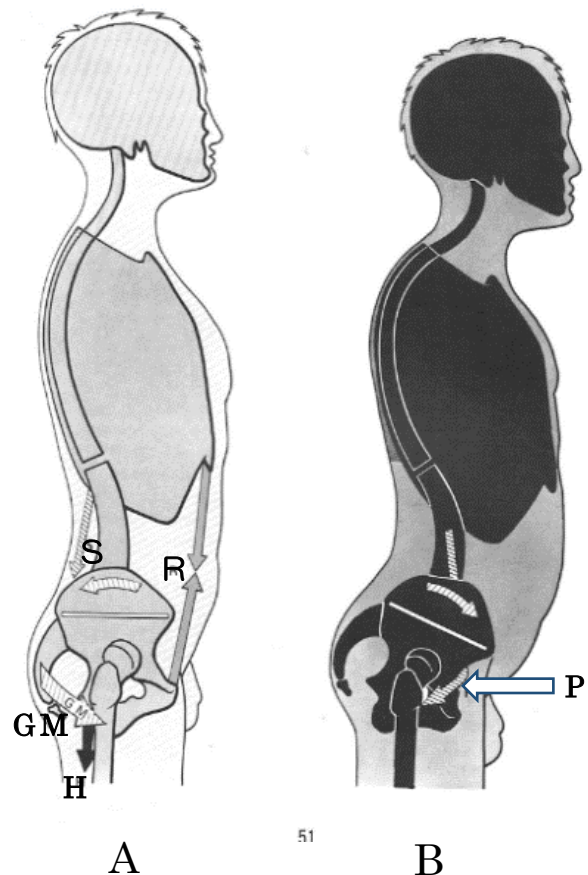
本研究ではリラックス姿勢からバレエ姿勢へ脊柱のアライメントを変化させた場合、バレエ経験者については仙椎傾斜角 (SIA)、腰椎前弯角 (LLA) とともに減少し、脊柱の仙椎部、腰椎部において角度が減少していることが確認された。その結果、脊柱がより重心線に近くなり、狭い支持基底面でバレエを踊るために適した脊柱アライメントになっていると考えられた。一方成人からのバレエ愛好家については、ほとんどの被験者において SIA、LLA の増加が確認され、結果として脊柱アライメント角度が大きくなっていった。成人からのバレエ愛好家はバレエ姿勢を保持して、脊柱の弯曲を減少させ、「引き上げ」ているつもりでも、実際には角度が増加していることになり、バレエを踊るために適した状態ではないと考えられた。

また合計角度変化の減少が見られたクラスター 1 と合計角度変化量が増加したクラスター 2 とでは、体幹の筋肉、特に腹直筋相対値 (RCT-R) と大腰筋絶対値並びに相対値 (PSA-A、PSA-R) に統計的に有意な差があることがわかった。鈴木ら (2009) による不安定上座位では、安定座位とくらべ、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腰部多裂筋で有意に筋活動が高かったと報告している。また、不安定面上座位においてはグローバル筋に分類されている腹直筋、胸腰部脊柱起立筋と重心動揺との間に有意な正の相関が示されたとされている (2009: 鈴木)。バレエでは支持基底面が狭い中で姿勢を保持する

ため、不安定になりやすい。不安定は局面で筋活動が高かった腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腰部多裂筋が減少していると、バランス能に影響を与えると考えられる。クラスター2における腹直筋の減少がバレエ姿勢に影響を与えている可能性が示唆された。

バレエはつま先立ちの不安定な状態で踊ることを要求される場合が多い。そのため、体を安定させるために、脊柱アライメントを減少させるバレエ姿勢を取り、狭い支持基底面内でバランスを保持することを求められる。バレエ姿勢ができていると想定されるクラスター1の体幹筋の形状を確認してみると、コルセットのようにしっかりと腹腔を筋肉が取り囲んでいる様子が確認できるが、クラスター2では、脊柱起立筋、側腹筋では筋の発達が見られるが、腹直筋の減少が顕著であることが、目視でも確認できた（図14）。腹直筋の減少はバレエ姿勢の保持にどのような問題点を与えるのであろうか。

腰椎の彎曲は腹筋群や脊柱起立筋群の緊張だけでなく、骨盤に付着する下肢筋群の緊張の影響を受ける。カバンディによれば、筋の弛緩が3つの脊柱彎曲、すなわち腰部、胸部、頸部の彎曲を強める。さらに骨盤は前方に傾斜し、上前腸骨棘と上後腸骨棘をむすぶ棘間腺は下前方に傾く。図



51
図15 脊柱の平坦化に働く筋肉
 (カバンディ関節の生理学Ⅲ体幹・脊柱より)

15によると、骨盤に対して脊柱を屈曲し、腰椎弯曲を強める大腰筋（P）は過緊張して異常姿勢を悪化させる。バレエ姿勢にみられる弯曲の平坦化は骨盤レベルから始まる。骨盤の前方傾斜に対しては股関節伸筋群が釣り合いとして働く（図 15）。ハムストリングス（H）や大殿筋（GM）が収縮すると骨盤を後傾させ棘間腺を水平面に回復させ、仙骨も水平となり腰椎弯曲を減少させる。この過程に、決定的な役割をはたす筋群は腹筋群であり、特に、腰椎弯曲の両端を結ぶ腹直筋と大殿筋の収縮があれば腰椎弯曲を平坦化することが可能であると言われている。これより下方は、脊柱起立筋（S）の収縮により、脊柱が伸展し、上位腰椎が後方に引かれる。全体的にみれば、弯曲が平坦化すると脊柱は 1～3cm 長くなる。腹筋群は安静時には積極的に脊柱を支持しておらず、腰椎弯曲を意識的に平坦化させる動作が必要となる時に働く（カパンディ,1986）。バレエ経験者は脊柱を平坦化させる動作を幼少期から 20 年以上続けてきたため、バレエ姿勢に必要な筋肉がきちんと発達し、バレエ姿勢が正しくとれるようになった可能性が示唆された。一方で、成人からのバレエ愛好家は、合計体幹筋横断面積実測値はバレエ経験者と大きな差があるように見受けられなかったが、バレエの訓練を受けている期間も短く、体幹筋のアンバランスが顕著であった。猪口らによる CT 画像から解析した体幹筋の加齢による減少の研究によれば、骨格筋断面積は男性では各筋とも加齢的現象の傾向が顕著であるが、女性はあまりその傾向が見られないとされている。しかし男女とも腹腔内脂肪の増加と連動し、腹直筋と側腹筋群では退縮度の進行がみられるとしている（猪口ほか, 2002）。本研究でも、成人からのバレエ愛好家には体幹部に脂肪が多く見受けられる。また、2 章から、腹部総断面積が大きいと、

バレエ姿勢に影響がある可能性が示唆されている。バレエダンサーはスリムな体型の方が、正しい姿勢を保持しやすいのかもしれない。

Bergmark は構造的な特徴をもとに、体幹筋群をローカル筋システムと、グローバル筋システムに分類した。ローカル筋システムは深部筋と、起始か停止が腰椎にある筋の深部からなる。これらの筋は、脊柱分節の剛性及び、椎間関係、そして腰椎分節の姿勢をコントロールする。ローカル筋システムの筋は安定性に不可欠であるが、脊柱方向性のコントロールに対しては効率が悪く、この筋のみでは十分な安定性を得ることができない（図 16）。グローバル筋システムは、椎骨に直接付着せず、他分節を横断する表在に位置する大きな体幹筋である。これらの筋は脊柱運動のトルクを発生する筋であり、張り綱のように作用し、脊柱の方向性をコントロールし、体幹に加わる外的負荷とのバランスをとり、胸郭から骨盤に負荷を伝達する（Bergmark, 1989）。ローカル筋システム、グローバル筋システムの両方が適切

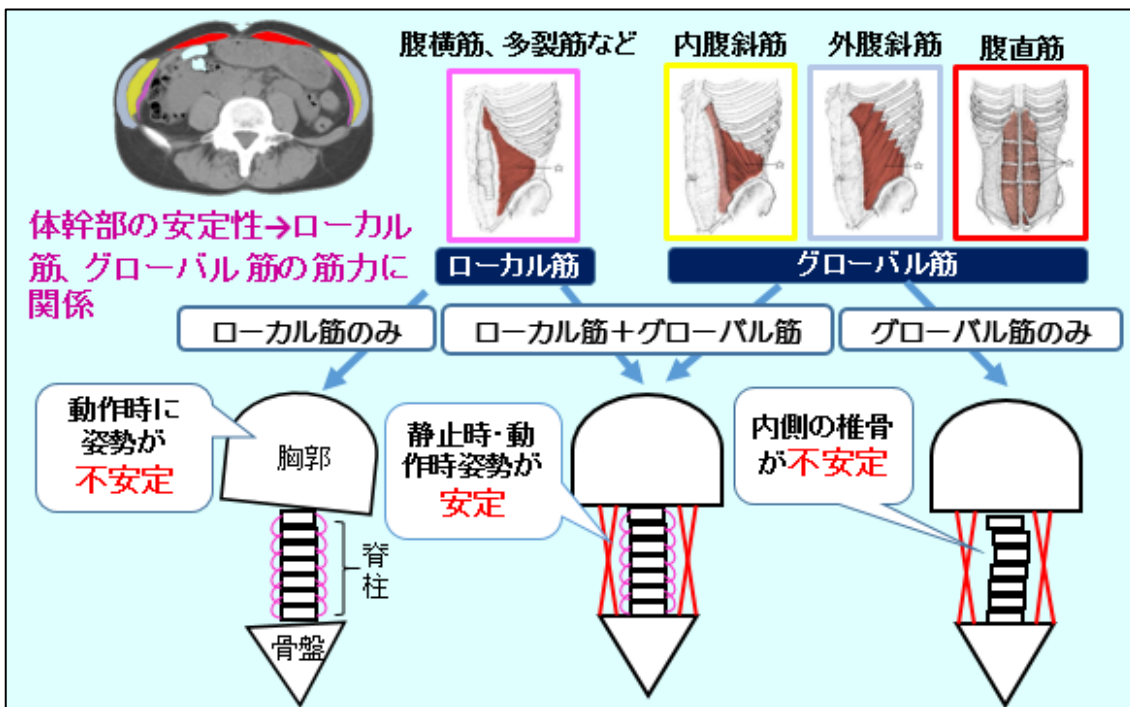


図 16 ローカル筋、グローバル筋による脊柱の安定化

に働くことによって、脊柱の安定性が生み出されており、動作時に体幹を安定させる機能として働いていると考えられる。そのためにも、体幹部のローカル筋、グローバル筋両方の発達バランスは重要であると考えられる（図 16）。

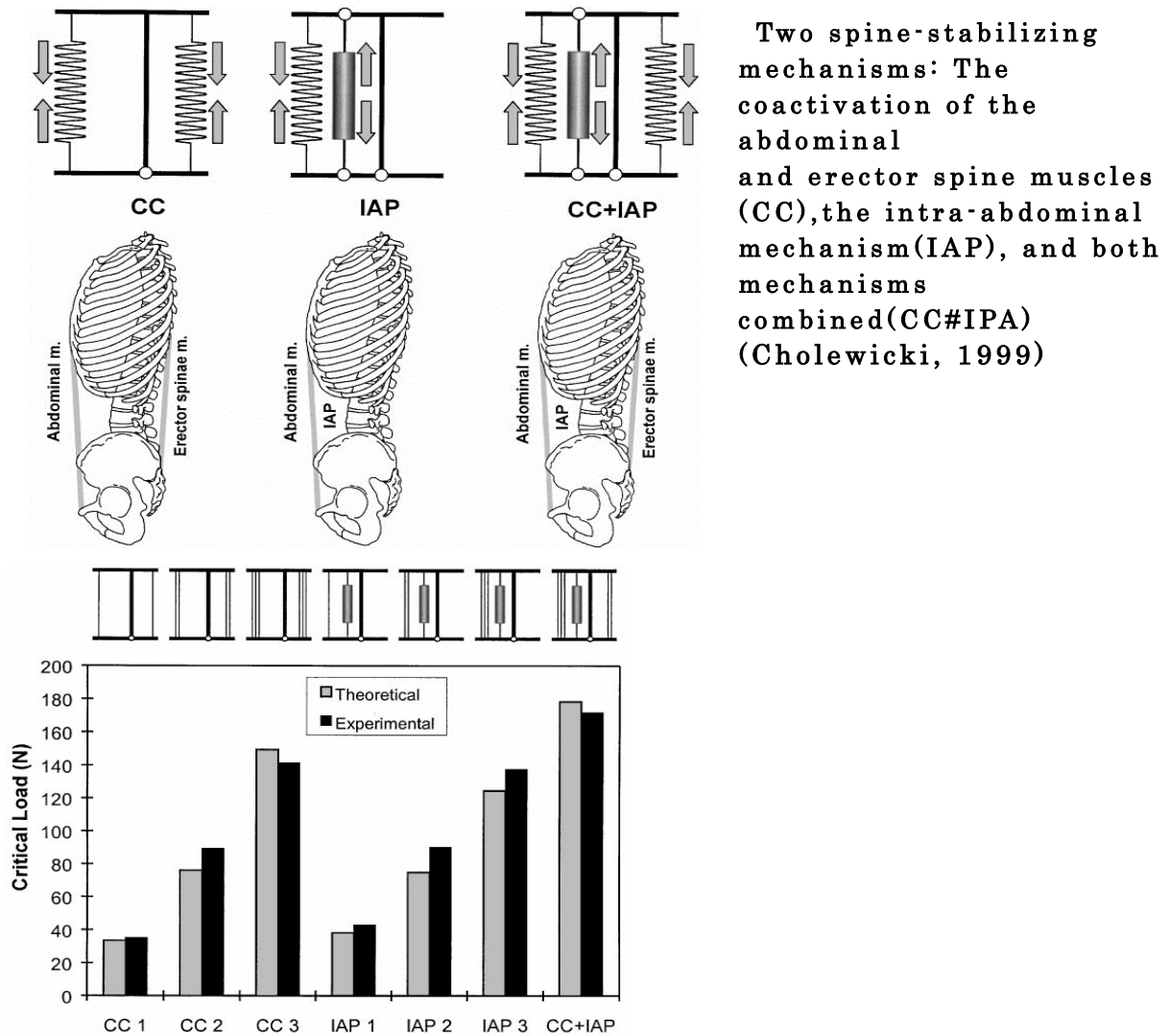


図 17 Critical loads determined theoretically and experimentally using a physical model for various muscle activation patterns simulated in this study. The critical load and, therefore, the stability of the spine coactivation, increased IAP along with increased abdominal muscle force, or both mechanism combined. CC-coactivation, IAP-intra-abdominal pressure mechanism. (Cholewicki, 1999)

CC：腹筋群＋脊柱起立筋群 IAP：腹腔内圧 CCのみ、IAPのみの力の増加より、CC+IAPが理論計算上、最大値を示した。

腹直筋の減少と同様にみられたクラスター1とクラスター2の違いは、クラスター1はコルセットのようにしっかりと腹腔を筋肉が取り囲んでいる形態がみられたことである。脊柱を保護するメカニズムの一つに腹腔内圧（IPA）があげられる。IAPは腹腔周囲の腹壁（腹筋群、横隔膜、骨盤底筋群）が収縮した時に生じる圧力である。IAPは腹腔内の内部圧が上昇すると、変形に抵抗するボールのように作用するとされた。これは体幹から骨盤にかかる力を減じる方法として理論づけられている（クリッピンガー, 2013）。これまでのところ、バレエ姿勢に腹腔内圧が関わっていると述べられている先行研究はほとんど見うけられない。クラスター間の体幹筋横断面積の形態の違いは、腹腔内圧の上昇に関わっている可能性が考えられる。

Cholewickiのモデル（図17）では腹直筋と脊柱起立筋が同時に働いて脊柱を安定させる場合（CC）、腹直筋と腹腔内圧とで脊柱安定させる場合（IPA）および両方のメカニズムを合わせた場合（CC#IPA）について検討を行っている。いずれの場合も筋力が増加すれば、脊柱の安定性も増加したがCC#IPAの場合が最も安定性が高かった。クラスター1は腹直筋、脊柱起立筋のグローバル筋システムで体幹を安定させたうえで、さらに腹側筋で腹腔内圧を上昇させ、引き上げ姿勢を保持することができ、脊柱のアライメントを安定させることができるのではないかと考えられた。クラスター1とクラスター2では大腰筋横断面積相対値に差が見られた。大腰筋は脊柱に直接作用し、脊柱アライメント変化させるだけでなく、腹直筋、脊柱起立筋、腹腔内圧とともに、引き上げ姿勢保持の役割を担っている可能性が示唆された。

第 4 章 全体幹 CT 撮影像によるバレエ姿勢時の体幹筋の特性

第 1 節 はじめに

これまでの本研究の結果から、バレエ姿勢と腹直筋 (RCT)、側腹筋 (LAT)、大腰筋 (PSA) の関連性が指摘されてきた。2 章、3 章の方法では、脊柱アライメント変化は立位の状態で撮影された通常 X 線画像で、体幹筋横断面積はワンスライスのみ CT 撮影像から解析を行ってきた。脊柱アライメント変化と体幹筋の変化の様子を同じ機器で同時に解析ができれば、より精度が上がるのではないかと考えた。特に、腹腔内圧に関わる横隔膜や骨盤底筋群も検証する必要性がある。そのために、横隔膜上縁から骨盤底までをすべて撮影することが可能な全体幹 CT 撮影像を導入しようと考えた。全体幹 CT 撮影は横隔膜上縁から恥骨結合までを 360°、1mm 間隔で撮影するため、すべての筋や骨の変化を前額面、矢状面、横断面で観察することが可能である。通常の姿勢からバレエ姿勢へ変化させたとき、身体内部ではどのような変化が起こっているのかを 3 方向から観察することができる。その場合、よく利用されるのが本研究で放射線被ばくのない MRI である。しかし、本研究では CT スキャンを利用した。MRI による全体幹撮影は 20 分以上が必要となる。バレエ姿勢を同じ状態で 20 分間保持することは非常に難しいと考えられた。そのため、撮影を 1 分以内で行う事のできる CT 撮影像から解析を行うこととした。

第 2 節 方法

第 1 項 被験者の選定

第 2 章の研究においてバレエ姿勢ができていると確認されたバレエ教師 1 名 (Sub.G 年齢 52、身長 161.5cm、体重 49.2kg) と、幼

い時からバレエの指導を受け、海外でも活躍し、現在も日本屈指のダンサーに数えられる者 1 名（年齢 37、身長 164.7cm、体重 47.8kg）を被験者とした。各被験者には事前に本研究の主旨，実験に関する情報，または影響について口頭と文書で説明したうえで実験参加の同意書に署名を得た。猫山宮尾病院倫理審査委員会での承認を受け、CT 撮影は医師の指導のもと当該医療機関において診療放射線技師により実施された。

第 2 項 全体幹 CT 撮影

1 撮影時の注意点

仰臥位にて全体幹 CT 撮影を行なう。腕は写り込まないように、肘を曲げた状態で側頭部位に挙上させ、筋緊張がないことと、脊柱アライメントに影響が出ないように注意した。仰臥位だが、できるだけ脊柱アライメントが通常立位と同じになるように意識喚起を行った。横隔膜上縁から恥骨結合までが完全に写り込むように調整をし、1mm 幅のスライスにて約 50 秒の撮影を 2 度行った。また、臍の部分にマーカー（プラスチック製のボタン）を置き、身体の矢状面からの中心の確認及び、横断面における基準となるようにした。

2 撮影姿勢

姿勢は①腹壁の引き込みを行わず、リラックスした通常の立位姿勢に近いと思われる状態（リラックス姿勢）②腹壁の引き込みをおこなない、バレエ姿勢に近いと思われる状態（バレエ姿勢）の 2 パターンの撮影を行なった。

3. 検証する項目

1. リラックス姿勢からバレエ姿勢に変化させると、腹腔の伸展がみ

られるか。その時におこる脊柱アライメント変化はどのようなものか。

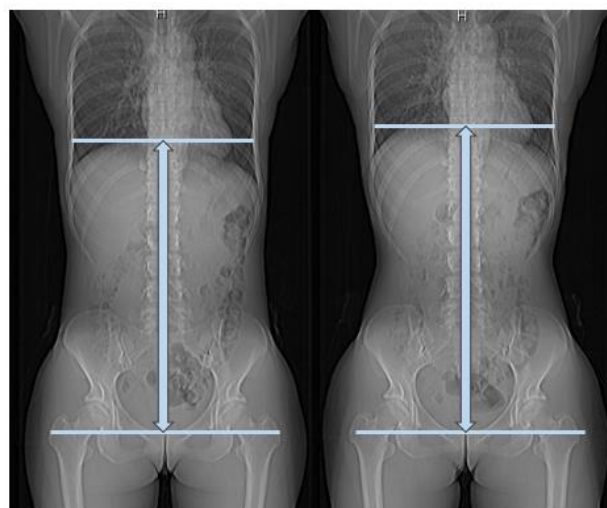
2.リラックス姿勢とバレエ姿勢での体幹外周面積、腹腔横断面積並びに筋横断面積を測定し、リラックス姿勢とバレエ姿勢ではどのような違いがみられるか。

全体幹CT撮影(360°)から、前額面、矢状面、横断面すべてから、体幹内部の変化について検証する。1.を検証するために、全体幹CT撮影像の前額面と矢状面から恥骨結合～横隔膜上縁までを計測し、リラックス姿勢とバレエ姿勢を比較する。2を検証するために、筋肉と内臓の境目が明瞭になる第2腰椎上縁、第3腰椎上縁、マーカのある臍の部分での体幹外周面積、腹腔横断面積を計測すると同時に、比較的筋の境目が明瞭なマーカの部分の腹直筋、側腹筋、大腰筋の筋横断面積相対値を計測した。また、腹腔内圧は骨盤底にも大きな影響を及ぼすことから、骨盤底筋を恥骨結合ならびに、両坐骨に囲まれた三角形の部分の横断面積の計測を行った。

第3節 結果

第1項 バレエ姿勢時における体幹部の伸展

体幹部の伸展を前額面から測定した結果、リラックス姿勢からバレエ姿勢へ変化させると、恥骨結合から横



リラックス姿勢 バレエ姿勢

図18 全体幹CT撮影像(前額面)ダンサー
表12 恥骨結合から横隔膜上縁までの実測値ならびに相対的变化

	リラックス姿勢	バレエ姿勢	横隔膜変位	相対的变化(%)
Sub.G	349.8mm	372.15mm	22.3mm	106.4
Dancer	384.7mm	404.0mm	19.3mm	105.0

隔膜上縁までの距離が相対値で 5~6% (実測で 19.3-22.3mm) 長くなり、横隔膜が上昇している様子が確認された。また、前額面から観察できる両姿勢の大きな違いはウエストラインから上部がかなり引き締められていたことだった (図 18、表 12)。

矢状面の解析は腸骨上縁から横隔膜上縁までの距離を求め、横隔膜が最も高い位置で確認された撮影像から測定をした。腸骨上縁から横隔膜上縁までの距離は、相対値で 5~6%長くなっており、横隔膜の上昇が矢状面からも確認された。また、ダンサーの撮影像における矢状面からの観察の結果、腎臓の横断面が明瞭に確認できたため、リラックス姿勢とバレエ姿勢における腎臓の位置を確認すると、バレエ姿勢では相対値で 48%上昇していることがわかった。バレエ姿勢は臓器の位置も大きく変えている可能性が示唆された。また肋骨の挙上や、下降などは確認できなかったが胸腔内も拡張が見られた。

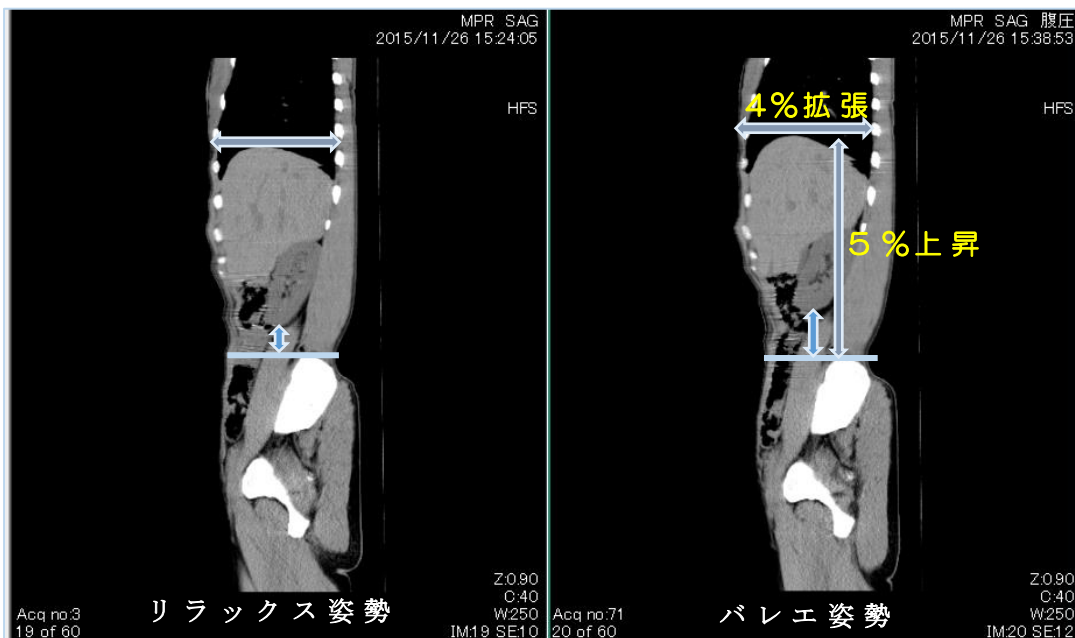


図 19 矢状面から観察される横隔膜、肝臓の上昇 (ダンサー)

矢状面からも腹腔の伸展が、腸骨上縁から横隔膜上縁までの距離の増加で確認できる。また。胸腔内も拡張しているが、肋骨の挙上などは確認できなかった。



図 20 脊柱アライメント変化（ダンサー）

ダンサーの SIA(仙骨傾斜角)はバレエ姿勢時にわずかに増加。
LLA（腰椎前弯角）は弯曲がほとんど見られず、測定不能。

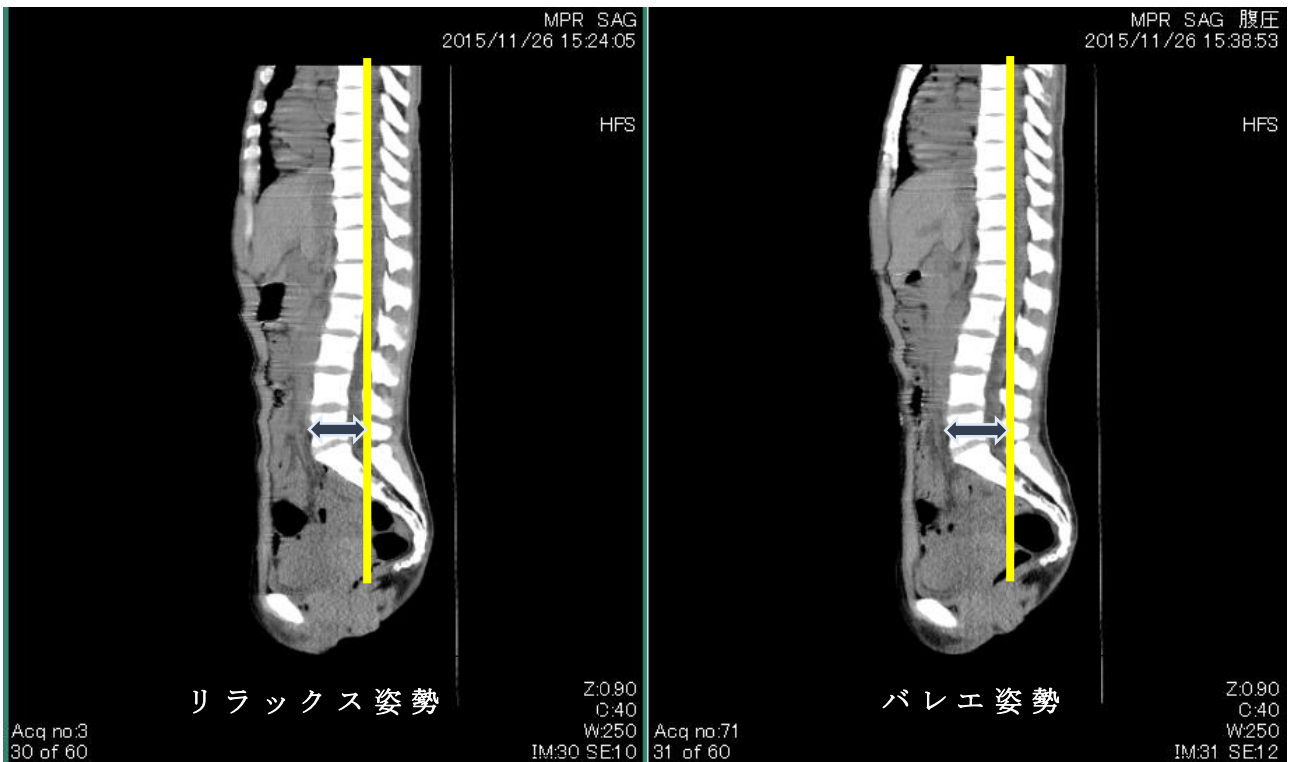


図 21 ダンサーの脊柱弯曲変化（矢状面）

補助線を引いてみると、矢状面からもバレエ姿勢時における脊柱の弯曲増加を目視することができる。

矢状面からの脊柱アライメントの変化を観察すると、ダンサーの

脊柱はリラックス姿勢時からアライメントがほとんど垂直に近い状態であることがわかった。そのため、腰椎前弯角は測定が不能であった。リラックス姿勢とバレエ姿勢時の仙椎傾斜角を測定したが、Sub.G、ダンサーともわずか2度ほどしか変化しておらず、何度か測定して平均値をとったが、誤差の範囲ほどの差しか確認できなかった。しかし、目視で観察すると、ダンサーはバレエ姿勢の方が若干ではあるが腰椎弯曲が増加している。胸椎部分から骨盤へ向かって引いた垂線から第5腰椎の前面まで水平線を引いてみると、バレエ姿勢は僅かに腰椎が前方にせり出して、弯曲が大きくなっていることがわかる。しかし、腰椎前弯指数などで評価を試みたが、評価できるほど大きな変化ではなかった。全体幹CT撮影像からは、リラックス姿勢からバレエ姿勢に変化させても、脊柱アライメントの大きな変化は確認できなかった。

第2項 バレエ姿勢時における体幹内部の変化

横断面からの観察で、リラックス姿勢からバレエ姿勢に変化させると、撮影像の形態観察から、体幹外周、腹腔内断面積が減少する様子が確認された。リラックス姿勢時における横断面積を100とし、バレエ姿勢における体幹外周ならびに腹腔内断面積の相対値を算出すると、第11、12胸椎部分ではわずかな増加、第2、第3腰椎部分では外周面積、体幹部横断面積が減少することが確認された。体幹部外周は両被験者ともバレエ姿勢時に減少はしたが、あまり大きく変化していなかった（図28）。



姿勢を変化させる



図 22 第 11 胸椎上縁における前額面・横断面（ダンサー）

第 11 胸椎上縁での横断面を示す。上側がリラックス姿勢、下側がバレエ姿勢に変化させた場合。横断面積はほとんど変わらないが、3%ほどバレエ姿勢の方が拡張している。



姿勢を変化させる



図 23 第 12 胸椎上縁における前額面・横断面（ダンサー）

第 12 胸椎上縁での横断面を示す。5%ほどバレエ姿勢の方が拡張している。



姿勢を変化させる

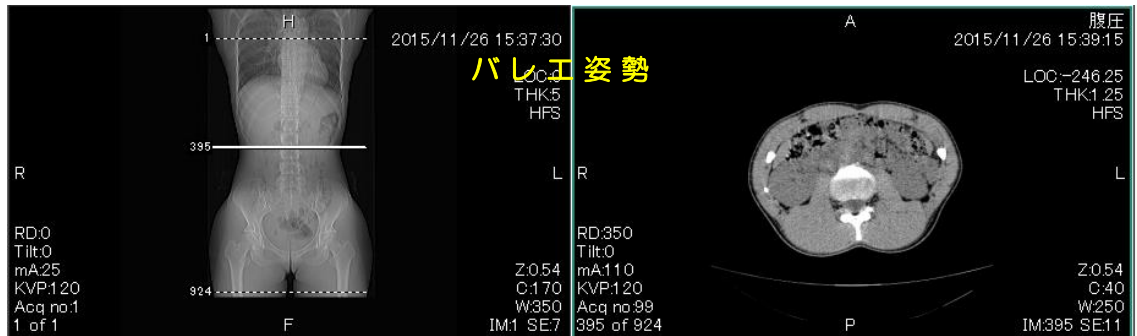


図 24 第 2 腰椎上縁における前額面・横断面（ダンサー）

第 2 腰椎上縁での横断面を示す。上側がリラックス姿勢、下側がバレエ姿勢に変化させた場合、横断面積が大きく減少していることが確認できる。外周：約 9% 減 腹腔内横断面積：約 23% 減

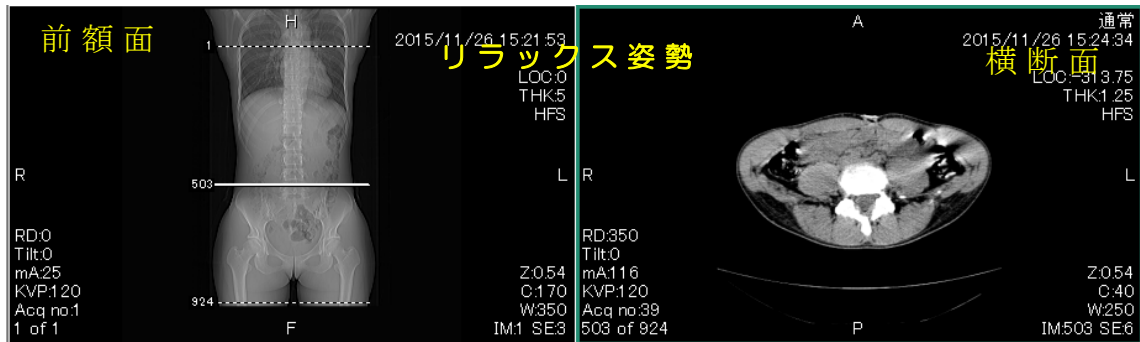


姿勢を変化させる



図 25 第 3 腰椎における前額面・横断面（ダンサー）

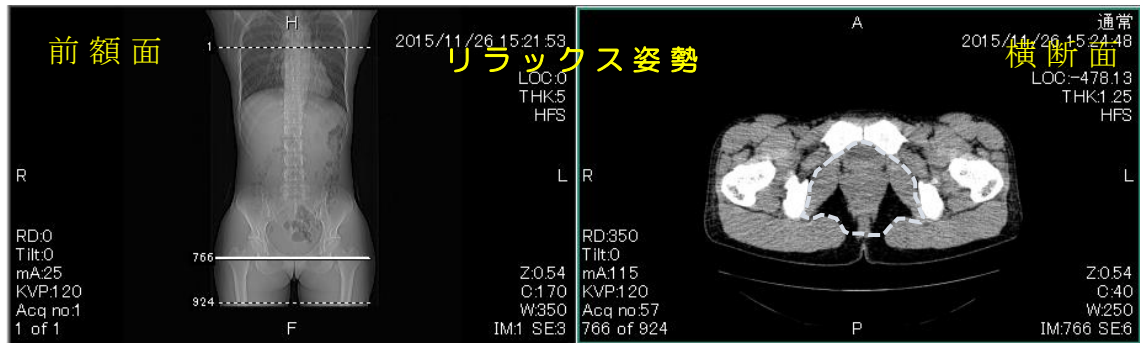
第 2 腰椎の横断面と同様に、断面積の減少がみられる。外周：約 16% 減 腹腔内横断面積：約 35% 減



姿勢を変化させる



図 26 マーカー（臍）部分前額面・横断面（ダンサー）
 第 2 腰椎の横断面と同様に、横断面積の減少がみられる。
 外周：約 9% 減 腹腔内横断面積：約 23% 減



姿勢を変化させる



図 27 骨盤底における前額面・横断面（ダンサー）
 第 2 腰椎の横断面と同様に、横断面積の減少がみられる。
 腹腔内横断面積：約 4% 減

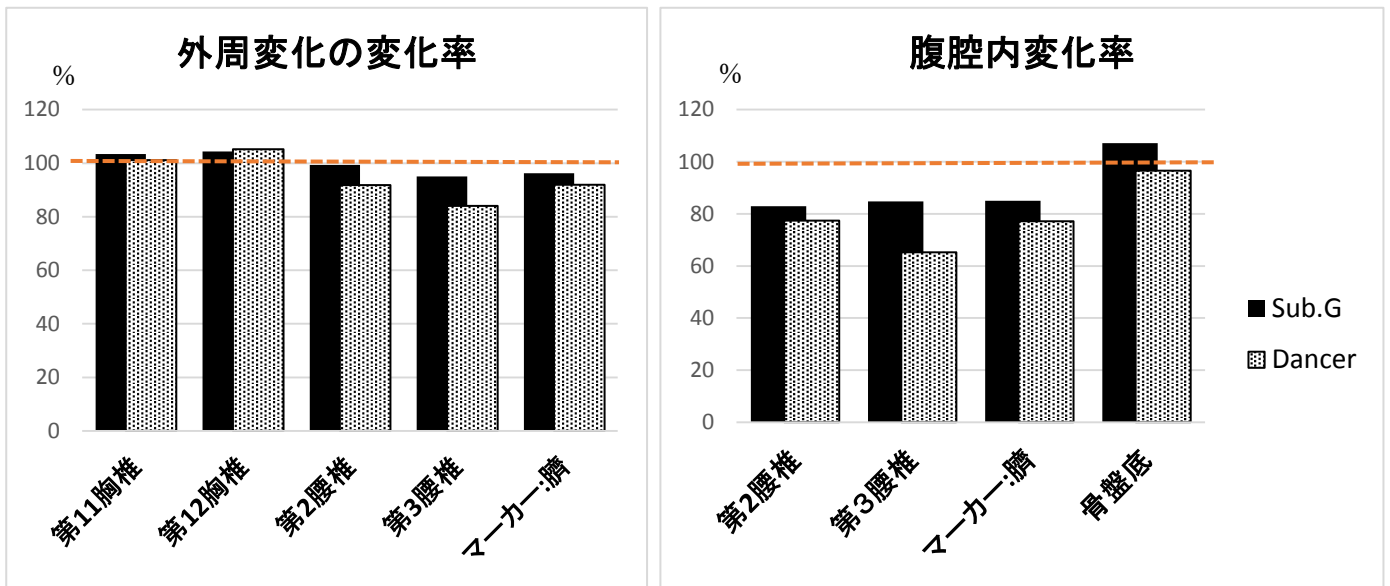


図 28 リラックス姿勢を 100 とした場合のバレエ姿勢における横断面の変化率（外周および腹腔内横断面積）
 リラックス姿勢からバレエ姿勢に変化させると外周並びに腹腔内横断面積が減少することがわかった。特に、第 2 腰椎～臍（マーカー）の腹腔内変化率が大きかった。

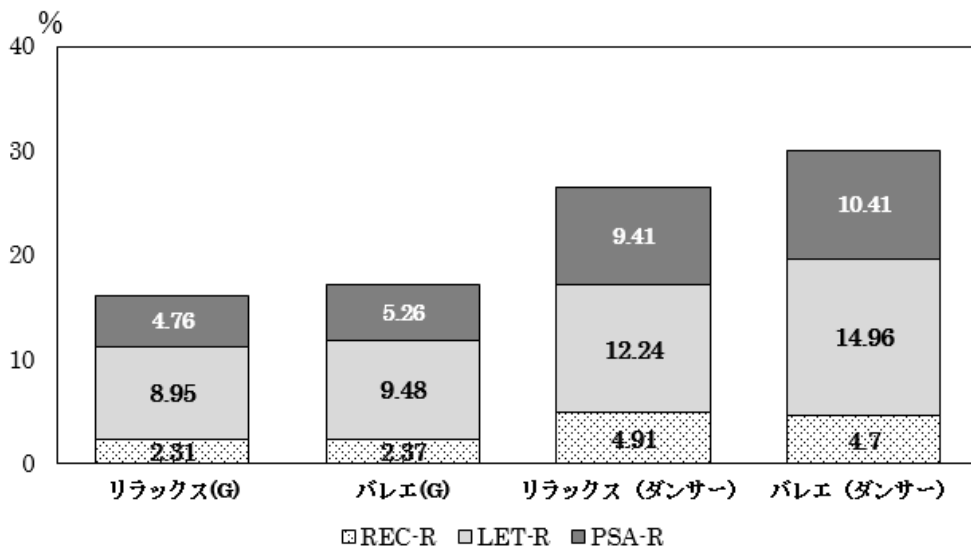


図 29 マーカー部(臍)における RCT-R, LET-R, PSA-R の姿勢による変化
 Sub.G、ダンサーともにリラックス姿勢からバレエ姿勢へ変化させると、LAT-R、PSA-R 横断面積が大きくなることがわかった。姿勢を変化させるためにこれらの筋肉が働いていることがわかる。

体幹内部、特にダンサーは第 3 腰椎部の腹腔内変化率が大きく、34.8%もの減少が見られた。目視で形状を観察しても、体幹筋によっ

て引き締められている様子が観察できた（図 28）。

Sub.G とダンサーとで傾向の違いが観察されたのは骨盤底筋部であった。Sub.G の骨盤底筋群横断面積は増加が見られたが、ダンサーは僅かであるが、減少している様子が観察された。臍マーカークの部分の腹直筋（RCT-R）、側腹筋（LAT-R）、大腰筋（PSA-R）の筋横断面積相対値を計測した結果を図 29 に示す。2 章で検証したすべての被験者よりも、ダンサーの体幹筋の相対値は大きかった。また、バレエ姿勢では、PSA-R と LET-R の横断面積は増加したが、RCT-R の筋横断面積について Sub.G ではわずかな増加、ダンサーにおいては減少した。リラックス姿勢からバレエ姿勢へ変化させると、体幹筋の相対値が変化することから、これらの筋肉が働いて、姿勢を変化させていることが確認できた。

その他、形状観察からリラックス姿勢とバレエ姿勢時における筋

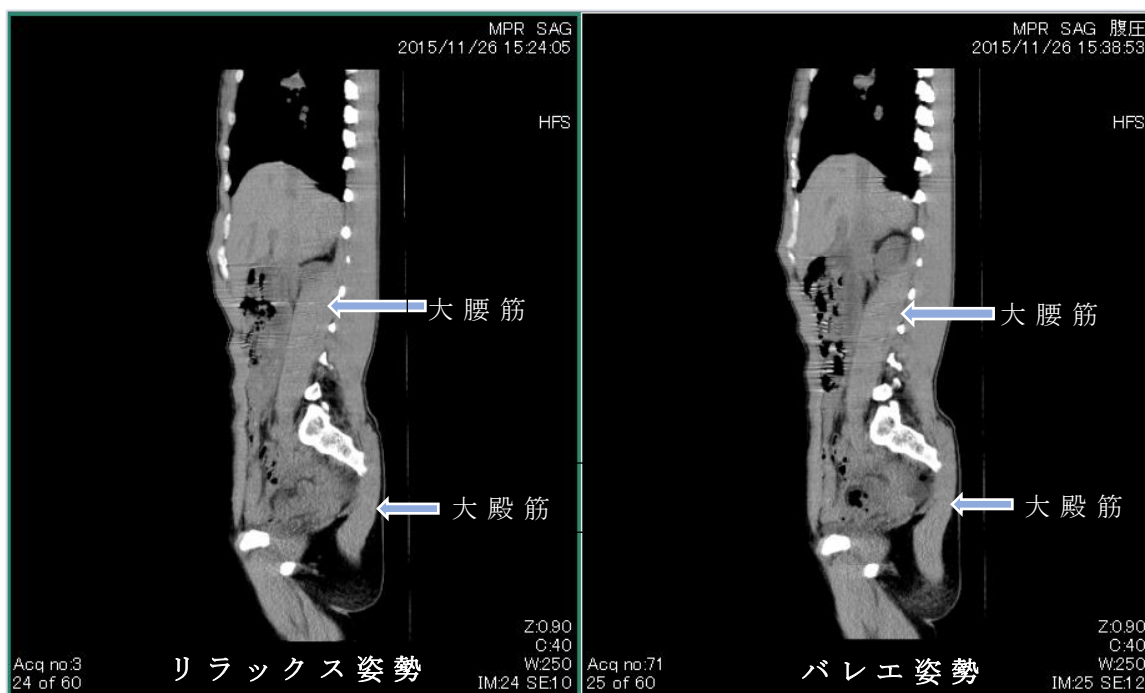


図 30 矢状面からの筋活動変化

バレエ姿勢では大腰筋や大殿筋が働いている様子が確認できる。

肉の状態では明らかになったことは、バレエ姿勢時における矢状面からの観察では、大腰筋、大殿筋がリラックス姿勢と比較して、収縮している様子が見られた。全体体幹 CT 撮影像では脊柱アライメントはほとんど変化していなかったが、大腰筋と大殿筋がバレエ姿勢をとるさい、働いている可能性があることがわかった。

第 4 節 考察

被験者 2 名による全体幹 CT 撮影像から観察されたことは、2 章でバレエ姿勢と相関が見られた腹直筋相対値 (RCT-R)、側腹筋相対値 (LET-R)、大腰筋相対値 (PSA-R) の筋横断面積が変化することが確認された。姿勢を変化させるとこれらの筋肉が働いているということが示唆された。これらの 3 つの筋は 2 章での身体特性と体幹筋横断面積の結果から、お互いに関連性があると確認された筋である。また、腰椎アライメント変化に関わっているとされたのも、LET-R と PSA-R であり、バレエ姿勢にとって、これらの筋は重要な働きを担っている可能性が示唆された。また、同じ機器、同じ測定者によって

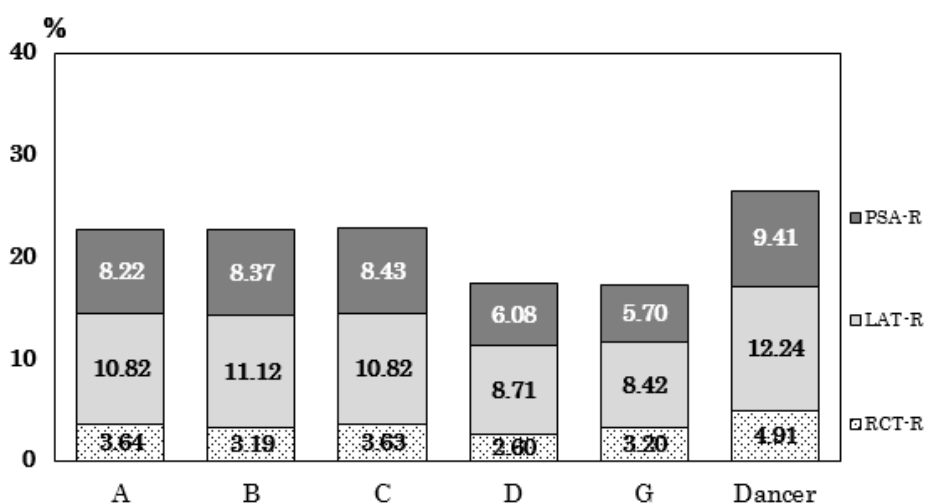


図 31 バレエ姿勢ができたと確認されたクラスター 1 (3 章) とダンサーの体幹筋横断面積の比較

撮影された CT 画像であるため、臍（マーカー部）での筋横断面積相対値を 3 章でバレエ姿勢をとることが可能であったクラスター1 と比較すると、図 31 のようになることがわかった。被験者 A、B はプロフェッショナルクラシックバレエダンサーだが、世界的に活躍しているダンサーと比較すると、体幹筋横断面積相対値がかなり違う事がわかる。ダンサーはクラシックバレエの訓練を受け、毎日バーレレッスンとセンターレッスンをうけているが、クラシックバレエをほとんど踊ることはない。コンテンポラリーダンスまたは、モダンバレエと呼ばれるクラシックバレエとはかなりバランス保持方法が異なるダンスをメインにしているため、筋の発達は当然異なると考えられる。特に、ダンサーは腹直筋（RCT）と側腹筋（LAT）の割合が大きくなっていることに注目したい。

リラックス姿勢からバレエ姿勢をとると、横隔膜の上昇が確認された。横隔膜は呼吸筋でもあるため、呼気によっても上昇すると考えられる。しかし、バレエ姿勢をとった場合、腹筋群の働きでウエストラインより上部は引き締められ、腹腔内断面積の顕著な減少が確認された。また、呼気では減少すると考えられる第 11 胸椎、第 12 胸椎での横断面積の僅かな増加から、胸腔が拡張していることが観察された。これらのことを考え合わせると、横隔膜は呼気による上昇よりは、腹腔内圧の上昇によって、挙上されたと考えられる。ハースはダンスが脊柱に及ぼすいかなる物理的力にも耐えうる強さを養うために、コアの筋肉を深く強く収縮するように提唱している（ハース，2015）。本セクションの結果から、バレエ姿勢をとると、腹腔を取り囲む体幹筋を強く収縮させ、腹腔内圧を上昇させて、脊柱を安定化させるのではないかと考えられた。

本研究ではバレエ姿勢時に前額面からも、矢状面からも腹腔内の横隔膜の上昇が観察された。横隔膜は胸郭の底を形成し、胸郭と腹部とを区切っている筋腱性のドームである（図 32）。横から見るとこのドームは前方よりもむしろ後方に伸びており、その頂点は臍中心（1）である。この中心から筋繊維の帯（2）が胸郭底の周辺へと放散し、助軟骨の深部表面、第 11 と第 12 肋骨先端、肋骨弓、脚（左脚 3、右脚 4）から椎体及び大腰筋（7）と腰方形筋（8）の内側表面に付着する。横隔膜は呼吸の基本的な筋肉であるとともに、胸腔の 3 方向の径すべてを横隔膜自体で増減させる。

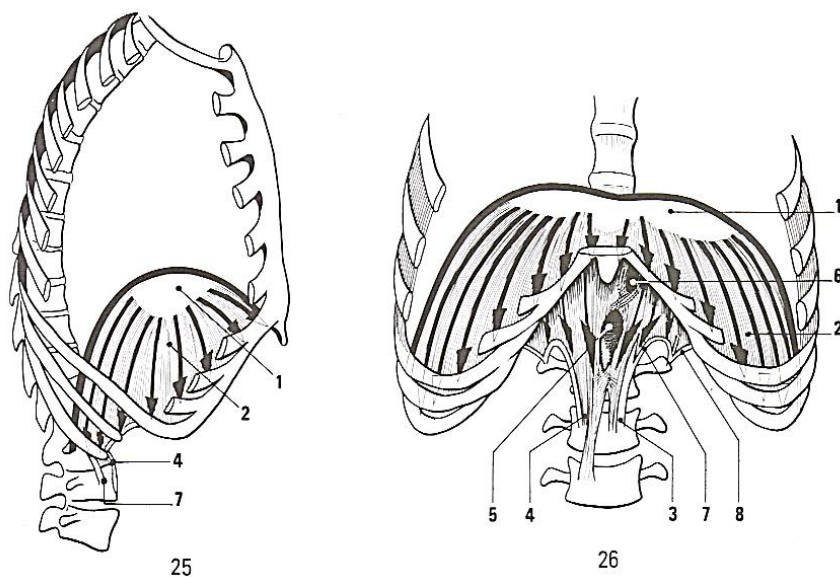


図 32 横隔膜の形状

1:臍中心 2:筋繊維の帯 3:左脚 4:右脚 5:大動脈通路
6:食道通路 7:大腰筋への接続 8:腰方形筋へ接続
(カパンディ関節の生理学 pp27 から引用)

呼吸から横隔膜の働きを見てみると、呼気時、横隔膜は弛緩し、腹筋群のはたらきで胸郭底を持ち上げ、同時に胸郭の左右径と前後径を減少させる。腹腔内圧の増加によっても内臓は上方に押し上げられ、臍中心は挙上される。これにより、胸郭の上下径は減少し、肋骨

横隔膜陥凹は閉じる。それゆえ、腹筋群が胸郭 3 方向の直径を同時に減少させる時には、腹筋群は横隔膜の完全な拮抗筋となる。つまり、横隔膜と拮抗的に働き、かつ 6 方向（図 33）にある腹筋群すべてがうまく機能することによって、腹腔の内圧をうまく高める事ができ、体幹を安定させることが可能になると考えられる（カパンディ，1986）。つまり、筋収縮の異なる腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋がすべて同時に機能しないと、腹腔内圧の上昇は難しいということになる。

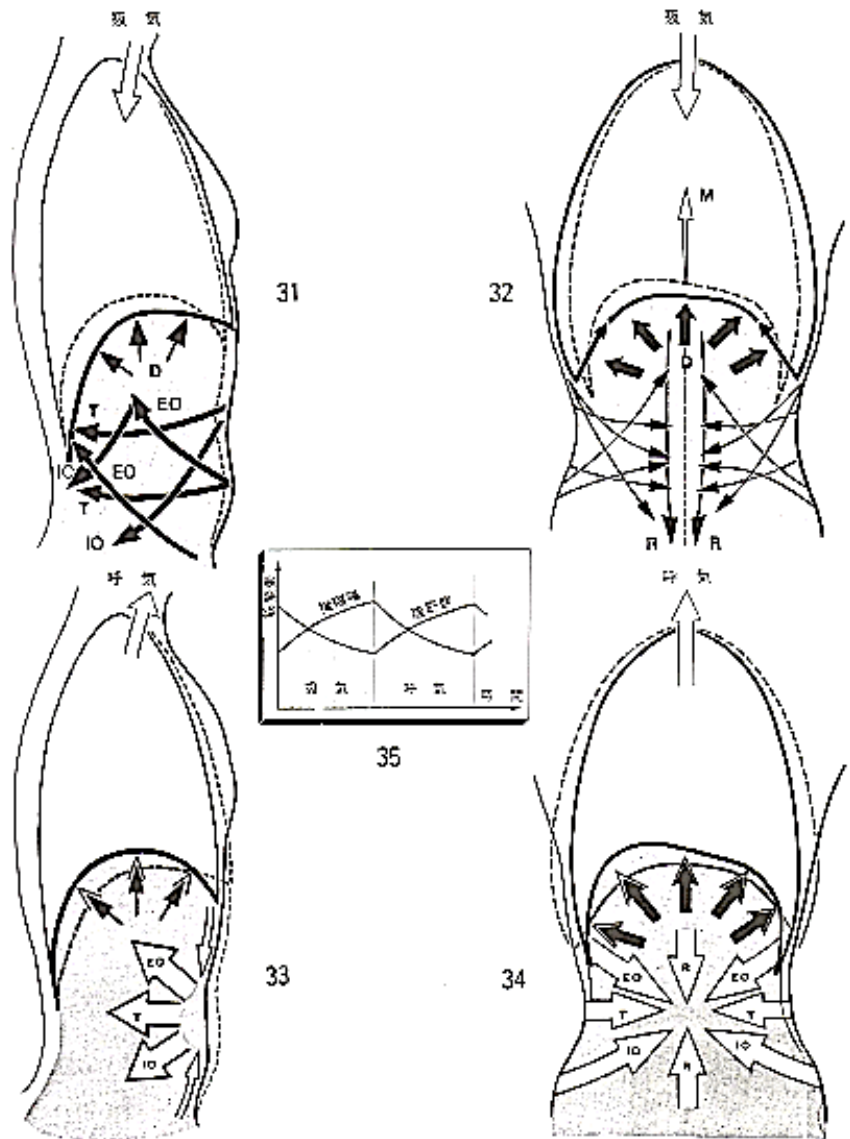


図 33 横隔膜と腹筋群の拮抗作用と共同作用
M:縦隔洞 D:腹部臓器
R:腹直筋 T:腹横筋
IO:内腹斜筋 EO:外腹斜筋 (カパンディ関節の生理学 pp145 より引用)

矢状面からの観察で、バレエ姿勢をとると横隔膜と付着している大腰筋の筋活動が観察された。脊柱に付着している横隔膜が上昇したうえで、大腰筋が脊柱を下方へ引き下げる動きをしたと考え、脊柱起立筋群と連動した場合、バレエ姿勢では脊柱は引き伸ばされるのではないかと推察される。引き伸ばされた脊柱を安定化させるために、先に述べた横隔膜と拮抗的に働いている腹筋群が作り出す腹腔内圧が働くのではないか。特にバレエダンサーの第3腰椎における腹腔内変化率はリラックス姿勢時よりも34.8%も減少していた。脊柱の弯曲は個人差があると考えられるが、もともと脊柱の弯曲が少ない者は、脊柱の角度を変化させる必要がなく、自身のもつ筋力は姿勢を安定化させるためにより多く使う事ができると考えられる。

ハースは次のようにダンスにおける体幹の安定性について述べている。「ダンスのすべての動きは身体の基盤である体幹から生み出されます。数多くの医学的研究により、体幹の筋肉の収縮と腰の怪我の減少との関係が証明されています。脊柱をサポートするためには、この体幹の筋肉の収縮を生み出す必要があります。基本的な解剖学では、腹壁を構成する筋には、最も深部から順番に腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋であると教えてくれます。これらの筋肉が収縮すると、脊柱および脊柱のカーブを守ってくれます。」(ハース, 2015) 多くのバレエやダンスの専門書には、体幹の安定に関する記述があるが、ハースのように、体幹筋の重要性に言及している研究はあまり見受けられない。しかし、ハースの脊柱のサポートについての言及は、単に筋の緊張によって体幹を安定させるのか、腹腔内圧を高めるための筋収縮によって体幹部の安定性を高めるのかは述べられていない。これら2つの筋感覚はかなり違うと思われる。

腹圧は腹腔内の負荷をある程度反映しており、呼吸の影響を強く受けると言われているが、「腹圧が高いか、低いかという事」と、「安定しているか否か」ということは別次元の事象であると言われている（河端，2014）。つまり、腹圧が高ければ高いほどバランスが良いというわけではなく、その動作にあった腹圧のコントロールが重要なのではないかと思われる。腹部を引き締めようとしすぎると、胸の上部のみを使った浅い呼吸となり、十分な酸素を取り込むことができない。また、横隔膜は大腰筋にも付着しているが、腹部を引き締めすぎると、横隔膜と大腰筋の効率的な働きにも制限をかけることとなり、ターンアウトに関わる股関節に望ましくない緊張を生んでしまう（ハース，2015）。どの程度の腹腔内圧が適正なのかを確かめるためには、腹腔内圧を測定する必要がある。腹腔内圧を実際に測定する方法は、肛門からカテーテル型圧力センサーを15cmほど挿入し、内部の直腸圧を腹腔内圧として測定するというものが一般的に行われている（森山ほか，2015）。森山らの研究によれば、水泳選手はより高い泳速度を獲得するために、力強く腕や足を動かす際に、体幹部を固定させることで腹圧（IAP）が上昇するとしている（森山ほか，2014）。一方で、初心者レベルの泳者では、高い泳速度を獲得する際も、IAPの上昇を認められないこともあり、腕、脚という末梢のみに力を入れて、泳速度を高めようとするのではないかと考察している（森山ほか，2015）。バレエでも水泳と同様に、訓練によって、体幹部の安定のために腹圧（IAP）を高めることができる上級者と、手足の動きだけに意識が行きやすい初級者とでは、腹圧上昇による体幹部安定性に差があるのではないかと思われる。

第 5 章 体幹部の安定性と重心動揺との関連性

第 1 節 はじめに

4 章において、プロフェッショナルダンサーはバレエ姿勢を取ることによって、体幹部の安定性を高めていることが示唆された。多くのバレエに関するテクニク本にはバレエ姿勢をとると、脊柱が長く引き伸ばされることばかりが強調され、腹腔内圧による体幹部の安定化についてほとんど述べられていない。身体をスムーズに動かすためには、体幹部の安定が欠かせないのは明白である。固定部として安定している体幹がなくては、動作部としての四肢をうまく使う事ができない。クラシックバレエの衣装には、ウエストの部分にボーン（ウエストを整えるために、コルセットなどに入れられる金属製の添え木）が挿入されている。ダンサーはできるだけ自分のウエストのくぼみにピッタリと合うように衣装を調整する。バレエを踊るための大切な作業の一貫であるが、ある意味、バレエの衣装は腰痛時に処方される腰痛ベルトと同じような働きをしている可能性がある。渡部らによれば、腹部ベルトを装着することにより、下部体幹、腰部脊柱の安定性が向上し、腹圧の上昇がリーチ動作に良い影響を与えるとして述べている（渡部，2004）。また、渡部らは腹部ベルトを装着した場合と装着しない場合とでバランス能を比較するために、足圧中心軌跡を測定した結果、ベルトを装着したほうが有意に小さかったと述べている。バレエの衣装も、腰痛ベルトと同じように、腹圧を一定に保つ働きを担っているのではないか。つまり、バレエ衣装の構造から見ても、バレエ姿勢には腹圧をコントロールすることが大切であると示唆される。

本研究でも、体幹部の安定性がバレエテクニクの上達につなが

るか、検証を試みることにした。このセクションではバレエ（ダンス）経験者を対象に、上肢を動かした際の腰椎骨盤帯（体幹下部）安定性とバランス保持能力についての関わりを検証する。

第2節 方法

第1項 圧バイオフィードバックスタビライザーの利用

本研究では圧バイオフィードバックスタビライザー（PBS）を利用し、腰椎骨盤帯の安定性を計測することとした。圧バイオフィードバックスタビライザー（PBS）はローカル筋である腹横筋の選択的収縮を確認するために開



図 34 圧バイオフィードバックスタビライザー（PBS）

発されたものであり、伸縮性のないパッドと圧力計からできている。PBS の上に仰向けに寝てもらい、40mmHg に加圧して、仰臥位のままで動作を行う。体幹下部にある腰椎が安定していれば、圧の変化は

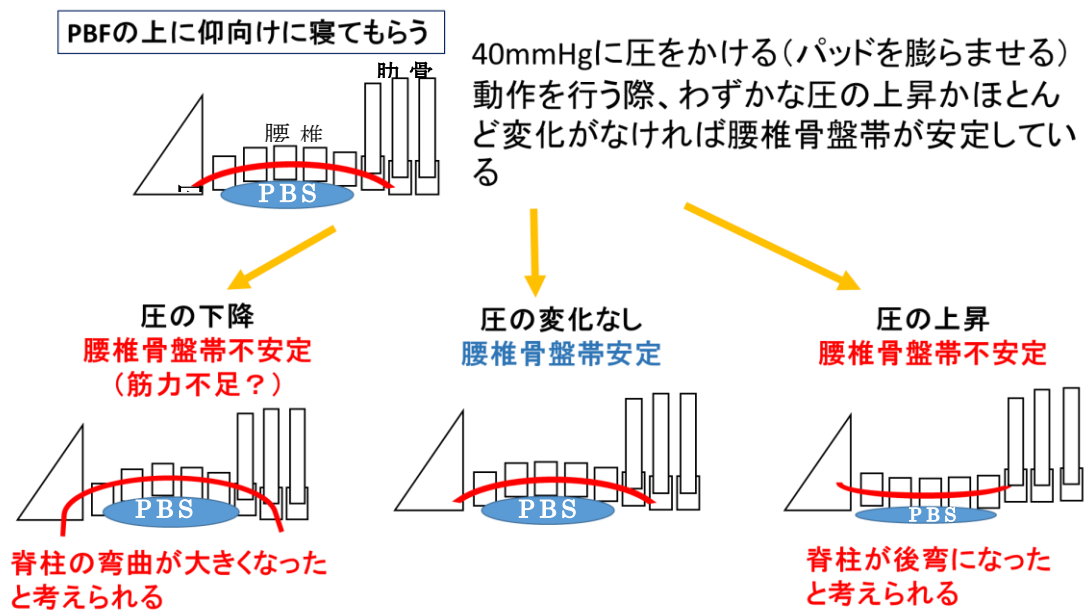


図 35 PBS を用いた腰椎部安定性の測定

ないが、四肢の動きに伴って圧の変化が見られれば、腰椎部が安定していないということが確認できる。腰椎の安定性がみられた者と、そうでないものにはバランス能に違いがあるかを検証する。

第2項 被験者の選定

できるだけ年齢、体格、受けている訓練にあまり差がない被験者を選択した。N高校ダンス部20名。基本練習にバレエレッスンを取り入れており、バレエ経験者も多い。

表13 身体特性 N高校ダンス部 n=20(女性)

年齢(歳)	16.5±1.1
身長(cm)	157.0±5.4
体重(Kg)	51.0±6.1
BMI	20.6±1.8

第3項 PBSでの腰椎変化値の測定

PBS上に仰臥位で横になり、腰椎部が安定するように膝を曲げる(図36)。その場合、自分で安定していると思われる姿勢をとる(基本姿勢)その状態のまま、①PBSを40mmHgになるまで加圧する。②メトロノームに合わせて、両腕を挙上



図36 PBS測定時基本姿勢



図37 腰椎安定度測定方法

する。8拍で腕をあげ、挙げきった時点の圧を測定する。③メトロノームに合わせて8拍かけて基本姿勢に戻る。基本姿勢に戻った時の圧を計測する。②と③を3回繰り返す(図37)。基本姿勢時に測定した圧力を圧力①、上腕を挙上しきった時の圧力を圧力②とする。圧力②-圧力①で求めた3回の圧力変化の絶対値を腰椎変化値とした。測定を正確に行うために、PBSから読み取れる圧の変化をビデオカメラで撮影し、圧の変化を記録した。

第4項 重心動揺測定

Wii Balance Board(任天堂社製:100Hz)を用いて身体重心動揺を測定する

1. 閉脚位,開眼にて30秒間静止立位姿勢を測定する(測定1)
2. 1と同じ姿勢でメトロノームに合わせて8拍かけて上腕を挙上し、8拍かけて元に戻す。16拍を1サイクル(15.5秒)とする。3回繰り返し、3サイクルを測定する(測定2)。

測定時は、前方を注視させ、被験者と壁までの距離は4mとした。



図38 重心動揺測定

第5項 解析方法

① 重心動揺の測定1のうち最も安定していると思われる15.5秒を静止時測定値とした(30秒の測定のうち、前半7.25秒、後半7.25秒をカットした)②重心動揺の測定2における1サイクル(15.5秒)を動作時測定値とし、総軌跡長、矩形面積、RMS面積を解析のパラメータとした。

動作時測定値 3 サイクルの各パラメータ平均値 / 静止時測定値で求められる相対値から総軌跡長変化指数、矩形面積変化指数、RMS 面積変化指数を求めた。③身体特性及び測定値のすべてを用いて、クラスター解析をおこない、傾向の明らかに異なる被験者を外れ値とし、解析から除外した。④腰椎変化値と重心動揺各パラメータとの相関を求め、相関がみられた指数を用いてクラスター解析を行い、各クラスターの特徴を検討することとした。⑤各クラスターの腰椎変化値、総軌跡長変化指数、矩形面積変化指数、RMS 面積変化指数を一元配置分散分析によって解析を実施した。

第 3 節 結果

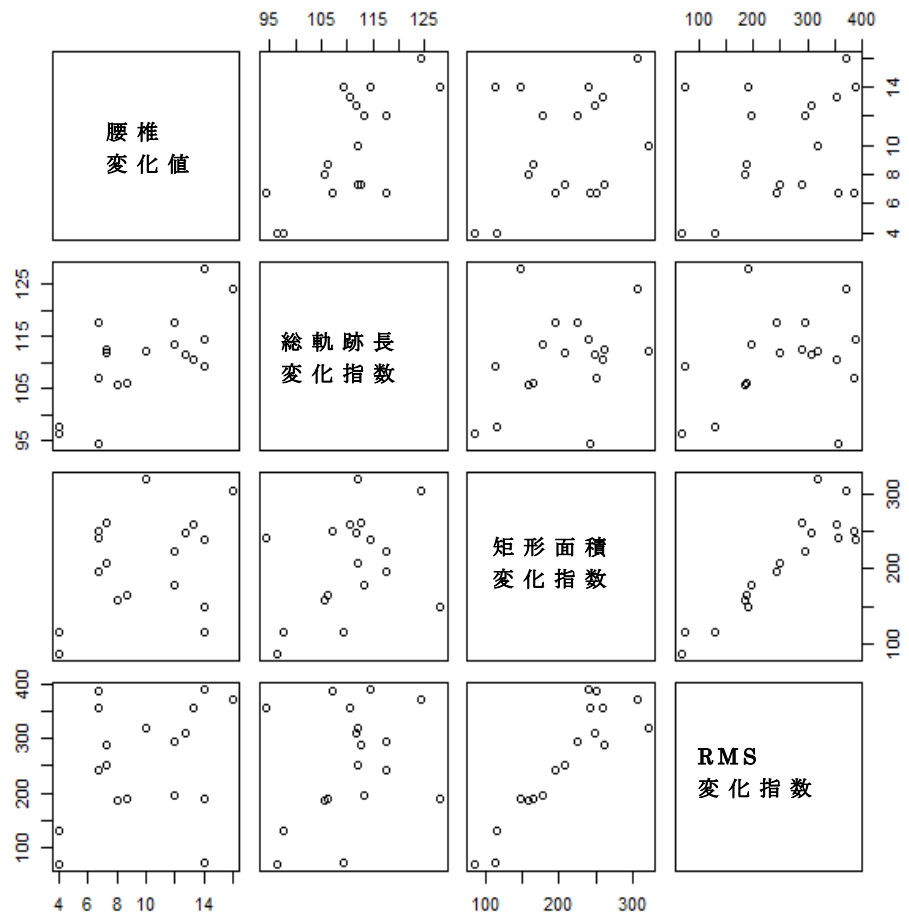


図 39
 腰椎変化値と各重心動揺パラメータによる相関図
 腰椎変化値と相関が見られたのは総軌跡長変化指数であった。矩形面積及び、RMS 面積には相関は見られるが、この 2 つのパラメータと腰椎変化値との相関は見られなかった。

重心動揺のパラメータである総軌跡長変化指数、矩形面積変化指数、RMS面積変化指数のうち、腰椎変化値との相関が確認されたのは総軌跡長変化指数のみであった ($r = 0.715$) (図 39)。相関がみ

表 14 各クラスターによる重心動揺パラメータによる変化値

	腰椎変化値 (mmHg)	総軌跡長変化指数 (%)	矩形面積変化指数 (%)	RMS面積変化指数 (%)
クラスター1	6.67	109.0	198.5	247.3
クラスター2	11.33	114.0	241.3	270.3
クラスター3	14.00	116.2	219.3	280.8

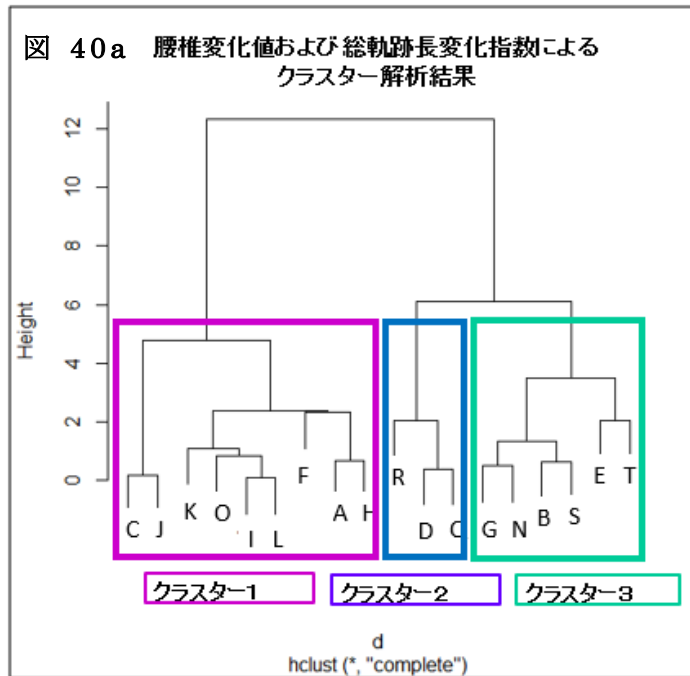


図 40b

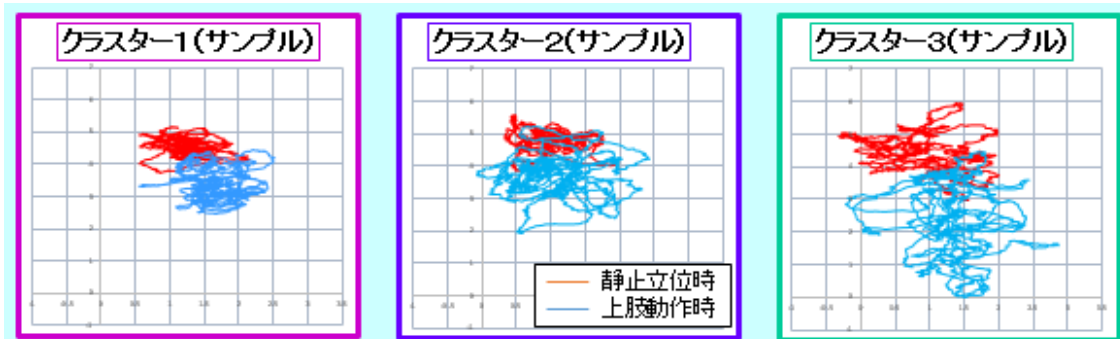


図 40 クラスター解析結果 (a) 並びにクラスターごとの重心動揺総軌跡長による散布図 (b)

られた腰椎変化値および総軌跡長変化指数を用いて、クラスター解析を行った。その結果、被験者は 3 つのクラスターに分けることができた。クラスター1は腰椎変化値が小さく、総軌跡長変化指数、矩形面積変化指数、RMS面積変化指数も他のクラスターより小さかった（表 14）。クラスター1は静止立位の時も動作時もバランスを安定して保っている様子であった（図 40b）。クラスター2、3の順で安定感が失われ、腰椎変化値も上昇していることが確認された。一元配置分散分析で解析した結果、腰椎変化値はクラスター間に差があることがわかった。また、総軌跡長変化指数でも、クラスター1とクラスター3の間に差があることがわかった（図 41）。

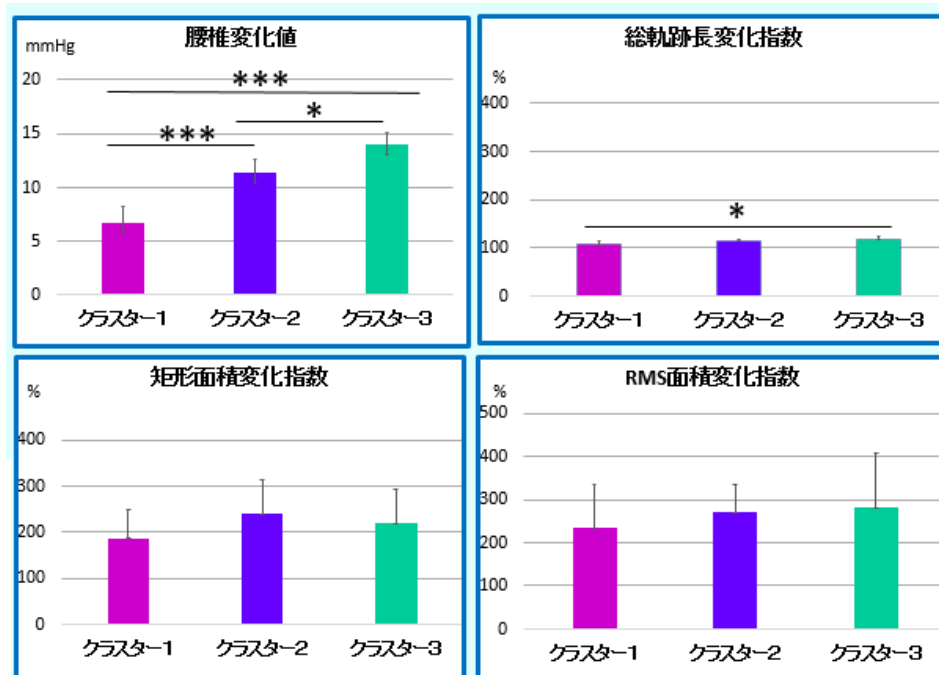


図 41
腰椎変化値と各重心動揺パラメータによるクラスター間の相違

第 4 節 考察

体幹は脊柱の分節的な運動によって、その重心位置を精微にコントロールすることが可能となり、このメカニズムはバランスを保持するにあたって利用されている（藤本ら，2013）。また、脊柱の分節的運動は頭部と上下肢の運動を必要に応じて分離することを可能にし、体幹の立ち直りや頭部の平衡維持に役立っている（石井，2006）。PBS を用いて、体幹部の安定性を確認した結果、体幹部の安定性を示す腰椎変化値とバランス能との間には関連性がある可能性が示唆された。近年、体幹筋と重心動揺の関係を調べる研究がなされるようになってきた。種本・渡邊（2012）は体幹深部筋に対する運動介入は重心動揺を安定させることが示されたとしている。また、鈴木ら（2009）は体幹筋活動が片脚立位時の重心動揺に関与していることが示唆されるとしている。つまり、体幹部の安定性がバランスを保持する上で重要な働きをしている可能性があるということである。

4 章で述べたとおり、体幹部の安定性をもたらすものに、腹腔内圧の上昇が考えられる。腰痛患者に処方される腰痛ベルトを装着させることにより、下部体幹、腰部脊柱の安定性が向上し、腹圧の上昇が良い影響を与える可能性があるとして述べられている研究もある（渡部ら，2004）。つまり、バレエ姿勢により腹腔内圧（IAP）が適切にコントロールされ、体幹部の安定性をもたらされ、脊柱アライメントが重心線に沿うように保たれると、バランスをうまく保持することが可能になるのではないかと推察される。

バレエにとって、狭い支持基底面内でバランスを保持する能力はバレエ上達のために欠かすことのできないスキルである。本研究から、腰椎の安定性がバランス保持に影響を与えることが示唆された。

第 6 章 総括論議

第 1 節 本研究のまとめ

本研究では、バレエ姿勢について主に通常 X 線撮影像、CT 撮影像並びに Wii バランスボードを用いた重心動揺測定から、定量的検証を行った。バレエ経験者、成人からのバレエ愛好家、並びにプロフェッショナルダンサーの参加を得て検証を行い、主にリラックス姿勢からバレエ姿勢になった場合、体幹部の筋肉が脊柱アライメント変化及び脊柱の安定性に及ぼす影響についての検討を行った。また、脊柱アライメントの安定保持がバランス能に与える影響について検証をおこない、これまでバレエの現場で経験をもとに指導されていたバレエ姿勢が、どのような身体的変化をもたらし、バランス能に影響を与えているのかを解明することを試みた。

それぞれのセクションで論じられたことをまとめると、2 章ではバレエ経験者とバレエ未経験者の身体特性から、体幹筋の発達を CT 撮影像による筋横断面積から評価した。その結果、身体特性と体幹筋横断面積との相関から、大腰筋 (PSA)、側腹筋 (LAT)、腹直筋 (RCT) に関連があることがわかった。また、バレエ姿勢における脊柱アライメント変化と体幹筋横断面積との相関を検証したうえで、バランス能と筋横断面積との関連性について検証を行った。その結果、脊柱アライメント変化と関連のある筋は LAT (側腹筋) と PSA (大腰筋) であり、バランス能と関連のある筋は脊柱起立筋群 (ERC) であった。また、ABD (腹部総断面積) と各筋横断面積の相対値は有意な高い負の相関が見られた。

3 章ではバレエ経験者と成人からのバレエ愛好家を被験者に、バレエ姿勢ができるクラスターとできないクラスター間の体幹筋発達特

性を検証した結果、RCT（腹直筋）とPSA（大腰筋）とに有意な差がみられることがわかった。また、バレエ姿勢ができたと考えられたクラスターはコルセット状に発達した体幹筋の形状が観察されたが、バレエ姿勢ができなかったクラスターでは体幹部筋のアンバランスが顕著であった。

第4章では主にプロフェッショナルダンサーがバレエ姿勢をとった場合の体幹部の変化を全体幹CT撮影像から、横断面のみならず、前額面、矢状面から検証を行った。その結果、ダンサーの体幹部にはコルセット状に発達した体幹筋の発達がみられ、バレエ姿勢をとると、特に腹腔横断面積が減少した上、横隔膜の上昇が見られた。一方で全体幹CT撮影像からは脊柱アライメント変化はほとんど確認する事ができず、長い訓練によって、脊柱アライメントの彎曲が減少しているようなダンサーにとって、バレエ姿勢は脊柱の変化をもたらすことよりも、腹腔内圧を上昇させ、体幹部を安定化させて複雑なダンステクニックを可能にすることが示唆された。

第5章では体幹筋によって脊柱（特に腰椎）を安定させることとバランス能との関わりを、圧バイオフィードバックスタビライザー（PBS）を用いて、高校ダンス部を被験者として検証した。その結果、体幹部の安定性を示す腰椎変化値と重心動揺パラメータである総軌跡長変化指数との間には関連性があることが示唆され、体幹部の安定性がバランス保持に影響を与えている可能性が示唆された。

第2節 本研究の問題点の検証

本研究ではバレエ姿勢をとった場合の身体的変化を主にX線撮影像（CTを含む）から検証を行った。X線撮影は多くの医療機関が所

有しており、立位での撮影が可能であることや、CT撮影ではMRI撮影では20分ほどかかる撮影をわずか50秒でできるなどの利点がある。X線撮影からは多くの情報が得られる一方で、放射線被ばくの問題がある。現在は少ない量の放射線で撮影することが可能な機器類が開発されてはきたが、利用できる医療機関は限られている。立位でのMRI撮影なども可能な機器も開発されてきているが、一般的に普及しているとは言い難い。全体幹CT撮影は仰臥位での撮影で、立位ではなかった。そのため、脊柱アライメントの状態が重力に則していない。そのため、脊柱アライメント変化の測定が正確だったとは言い難い。継続してバレエの姿勢を検証する際は、全腹部CT撮影像などは1回の撮影のみで、残りの検証は非侵襲性のMRIなどを継続して利用することなども考える必要がある。また、本研究ではバレエ経験者を主に解析し、世界的に活躍するダンサーに対する検証を行う事ができたが、被験者数が十分だとは言えない。バレエ姿勢には個人差が多いと思われるので、多くの被験者をできるだけ安全な方法で解析する手法を考える必要がある。スパイラルマウスや、超音波診断装置などの利用も視野に入れて、解析をする方法も検証すべきである。

本研究ではWiiバランスボード（Wiiボード）を用いて、重心動揺測定を行った。Wiiボードは安価な足圧中心（COP）動揺計であり、静止立位姿勢の重心動揺計として妥当性、信頼性が認められている（Clark et al., 2010）が、得られたExcelファイルデータをすべて自分で解析しなければならず、外周面積変化などの重心動揺パラメータが利用できなかった。専門の機器であれば、様々なデータが瞬時に計算され、いろいろな角度からの検証が可能であったと思われる。

第3節 バレエ姿勢とモーメントおよびトルク

これまでバレエ姿勢は「引き上げる」という言葉でバレエの現場で指導されてきた。引き上げは脊柱本体が様々な体幹筋の働きで伸展している様子を表していると考えられる。脊柱本体は多くの椎体からなる可動性の

構造をしており、それ自身のみで引き上げることはない。多くの筋活動によって脊柱の彎曲は減少して平坦化、伸展し、それが引き上がるという感覚につながっていたのではないかと考えられる。

図42は腰椎の骨—靭帯の模式図であり、胸郭と骨盤をつなぐ剛体モデルとなっている。椎間関節を並進以外の3軸上に回旋する球関節としている。姿勢を維持するためにはすべての関節周囲のモーメントが平行である必要がある。図42におけるAでは上半身の重力(矢印)は関節中心を垂直方向に貫通しているため、モーメントを生じない。したがって、脊椎は平衡状態にある。しかし、この状況は平衡状態が不安定であると言われている。靭帯と椎間板のみでの剛性は極めて小さいため、安定しない。有害な圧縮応力と伸張応力をまねく可能性がある(B)。しかし、Cholewickiらによれば、体幹筋の低レベルの収縮による付加的な剛性が得られれば、十分安定性を得られることが示されている(Cholewicki et al,1997)。平衡を維持するには、脊椎の両側の筋群が同じモーメントを産生して、すべての関節の周囲を正味ゼロモーメントにする必要がある。つまり、バレエダン

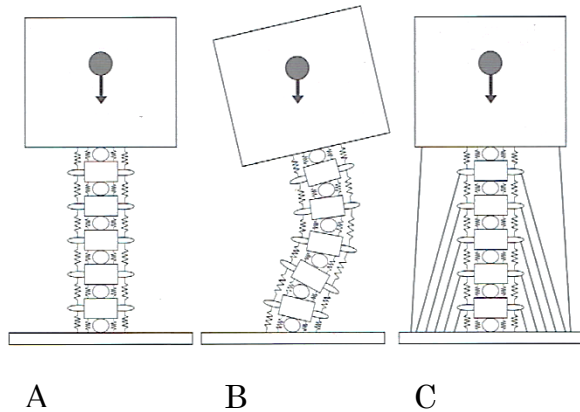


図42 腰椎の骨—靭帯を胸郭と骨盤をつなぐ剛体とみなした模式図
(スパイナル・コントロールより引用)

サーの脊柱アライメントが訓練によって比較的真っ直ぐな状態になっており、脊柱彎曲を減少させる必要がなければ、脊柱の剛性を少ない筋力で得やすく、安定性が高まること、また、脊椎の両側の筋群が働いて、正味ゼロモーメントにするためには、体幹筋の発達のバランスが非常に重要であることになる。

4章で被験者であったダンサーの体幹筋は非常に発達しており、かつ脊柱の彎曲が極端に小さかった。そのため、重力が身体の関節に発生させるトルクを小さくすることが可能であると考えられた。

重力が身体の関節に発生させるトルクの大きさは重力ラインと各関節軸の距離に比例する。図43は①足関節、②膝関節、③股関節、④仙腸関節、⑤第3腰椎関節、⑥第8胸椎関節、⑦第3頸椎関節、⑧後頭環椎関節における重力トルクを示している。すなわち重力ラインが関節軸を通過した場合には、トルクはゼロとなり、重力ラインが関節軸からはなれた場所を通過する場合のトルクは大きくなる。重力ラインが関節軸にできるだけ近い部分を通過すれば、バランスを保持することに使われる筋力は小さくてすむ(新関, 2003)。これらのことから、狭い支持基底面でバランスを保持することを要求されるバレエダンサーにとって、脊柱の彎曲が小さい事と、体幹筋がコルセット状に発達することは、脊柱の安定化にとって非常に重要な要素となることが考えられる。

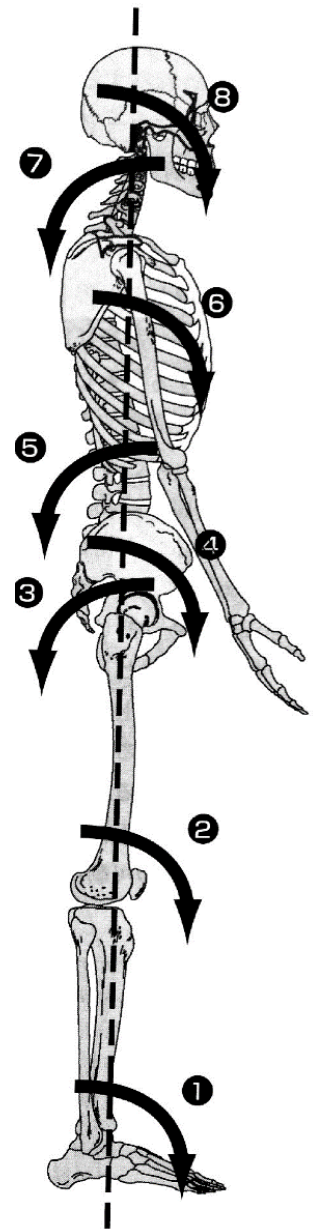


図 43 主な関節にかかるトルク (図解姿勢検査法より引用)

第 4 節 腹腔内圧の上昇とバランス

バレエ姿勢をとった場合、腹壁の引き込みを行い、腹腔内圧を高めて体幹部を安定化させていることが全体幹 CT 撮影像から示唆された。体幹部の筋肉は四肢の筋肉と運動制御の観点から根本的に異なる。四肢の筋肉が動きを作り、体幹筋は体幹部を止める、または制御しているといえる。歩行という単純な動作をみても、体重を一方の脚で支えながら、もう一方の脚を振り上げるためには、脊柱と骨盤に剛性と安定性が要求される (Hodges ほか, 2015)。バレエの動作は非常に複雑であるうえに、狭い支持基底面内にバランスを保持しながら、脚を 90 度以上前後左右方向へ挙上することなどの動作が多く、体幹部も歩行という動作以上の安定性が必要となることは明白である。そのため、体幹部を安定化させるための体幹筋の発達がバレエダンサーにとって必須であることは論じる必要がない。

本研究の 5 章で論じたように、腰椎安定値の高かったクラスターは、両手を挙上するという動作時にバランスを他のクラスターよりも安定して保持できることが確認された。バレエやダンスのような身体の隅々までを動かすことが求められる競技の場合、体幹部、特に骨格に囲まれておらず、不安定になりやすい腰椎付近の安定性は特に重要であると考えられ、その腰椎の安定性のために、腹腔内圧をコントロールしている可能性が示唆された。Hodges らは、腹腔内圧は特に第 2 と第 4 腰椎の安定性に寄与していると述べている (Hodges ほか, 2005)。バレエはウエイトリフティングなどと異なり、バルサバ呼吸(努責)のように息を止めることで腹圧を上昇させるのではなく、呼吸をし続けながら、腹圧を上昇させる必要がある。呼吸と姿勢の安定を同じ筋でコントロールする必要があり、そのために、長い間

の訓練が必要であるとも考えられる。

図 44 は腹腔（臓器が描かれていないバージョン）とその腹腔内に実際に入っている横隔膜と臓器の位置関係を示した。腹腔内には実際には多くの臓器があり、腹圧を高めた場合、

多くの臓器の位置関係は変化する。たとえば図 19 に示したダンサーの矢状面からの撮影像の解析では、実際に目視できる臓器（この場合は胃）がバレエ姿勢をとると、大きく移動していることが確認できた。体幹部横断面を見ると、リラックス姿勢とバレエ姿勢では撮影像に写り込んでいる臓器の風景は違っていることが多い。つまり、バレエ姿勢をとると、臓器の位置が変化するということになる。

臓器一つ一つにも重力は働いており、体幹筋の働きによって起こった腹腔の変化によって、体幹部にある臓器が持ち上げられ、位置が変化する。人の重心は手を挙上しただけでも上部へ移動する（図 45）。つまり、体幹内部にある臓器の位置が変われば、当然重心位置は変化し、重心は上方へ移動することになる。身体の安定性の条件として、体重が重い、支持基底面が広い、身体重心が低いことの 3

点が挙げられる（小島，2012）が、たとえあっても、質量をもつ内臓の上昇は身体バランスの不安定さの条件となる。バレエダンサーは芸術的観点からスリムであることを求められ、ほとんどの動作のス

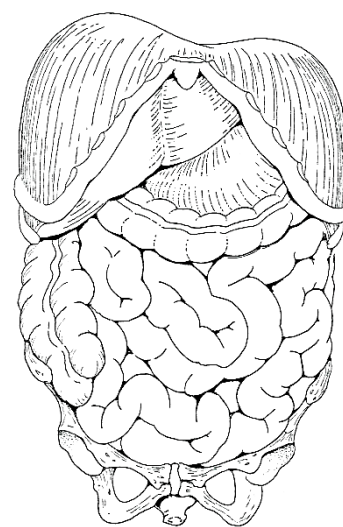
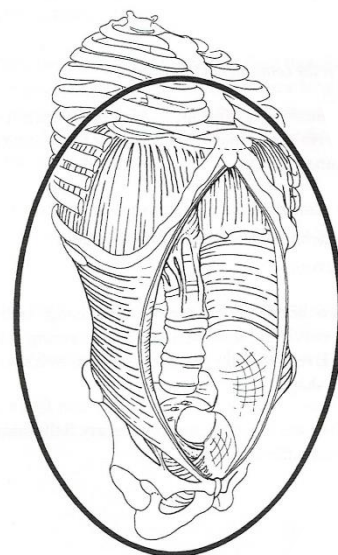


図 44 腹腔ならびに横隔膜と臓器の位置関係
(Anatomy of Breathing)

タート位置である 5 番の足ポジションは下肢をターンアウトさせた状態であり、支持基底面は大変狭い。さらに、バレエ姿勢による身体重心の上昇によって、身体はさらに不安定になる。そのような条件のもとで、高度なダンステクニックを発揮できるのがバレエである。

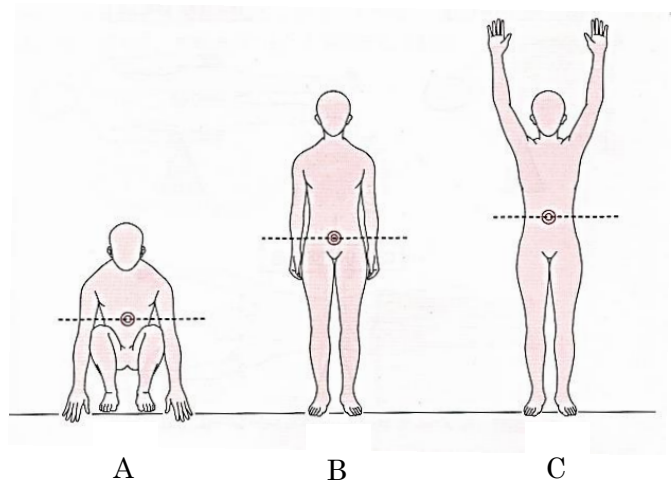


図 45 姿勢による重心の変化
手を挙げたことで、重心が上方へ移動
(だれでもわかる動作分析Ⅲから引用)

身体が不安定になるにも関わらず、身体重心をバレエ姿勢によって引き上げる意義は、次の 2 点から考えられる。一つ目は、重心が床から高ければ高いほど、バランスを崩す速度は遅くなる (図 46)。それゆえに、バランスが大きく崩れる前に必要な微調整が行える可能性がある。また、

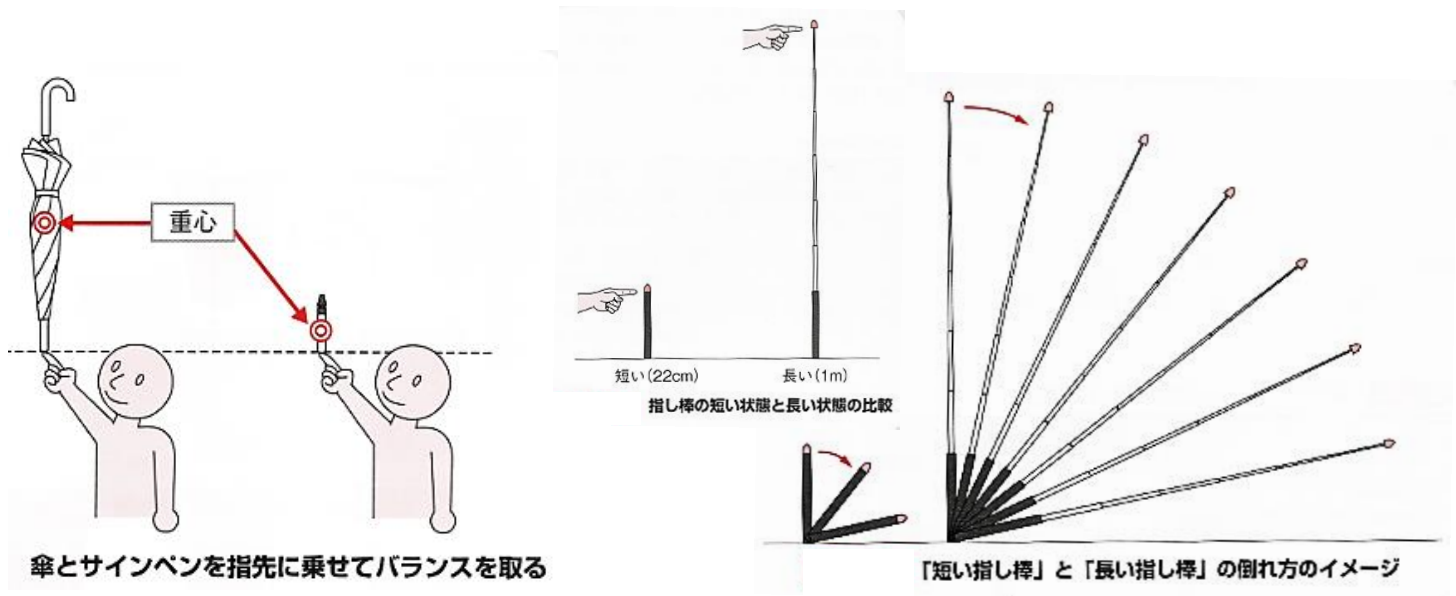


図 46 同じ支持基底面の大きさのものなら、重心の高い方が不安定だが、バランスは取りやすい
「バランスを取る」という場合は。「物体の安定性」に加えて、人間の「筋活動」を考えてみる必要がある。(だれでもわかる動作分析Ⅲから引用)

重心の位置が高ければ、わずかに身体重心をずらしただけで、次の動作に移りやすくなる。人間の歩行動作も、バランスを崩さなければ前へ進めないのと同様に、バレエの優美な動作は、微妙な重心移動によってなされている可能性がある（ローズ，2005）。

第5節 バレエ姿勢と呼吸

これまで、バレエ姿勢、つまり引き上げ姿勢というものは脊柱の弯曲を小さくすることがバレエの現場で強調されてきたことは1章で述べたとおりである。脊柱の弯曲には個人差があると考えられ、本研究に参加してくれたバレエダンサーとして舞台活動を行っている被験者には、バレエ姿勢をとった場合、大きく脊柱アライメントを変化させる者もいたが、ほとんど変化しなかったものもいた。脊柱アライメントを大きく変化かさせたいうえで、さらに脊柱を安定化させるために腹腔内圧（IAP）を上昇させるためには、体幹部の筋肉がより発達していることが必要であると推察される。

腹腔内圧に関わる体幹筋、横隔膜、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋、骨盤底筋群は呼吸においても重要な働きを担っている。体幹に対して、四肢を動かし、かつ呼吸は乱れない状態を考えなければならない。うえ、優美に踊るためには筋肉の過緊張は避けなければならない。多くの競技でも呼吸法は大切なファクターの1つであると考えられるが、バレエ姿勢を保持するための筋肉は、多くが同時に呼吸を司る筋肉であり、呼吸の乱れは即姿勢の乱れにつながってくることになる。バレエではどのように呼吸をおこなっているのか具体的に述べられている文献は日本では極めて少ない。

バレエの呼吸法を具体的に映像で伝えているのはイギリスの名門

ロイヤル・バレエスクールで具体的に行われている授業風景のDVD（バレエピラティスBASIC）である。それには「呼吸は体の動きに大きく影響します。ハアハアと息をすると横隔膜が必要以上に動き、上半身のブレにつながります。ラテラル（体の側背部を使う）呼吸法なら上半身が安定します。体の前側の肋骨は動かさずに、側背部の肋骨を開きま

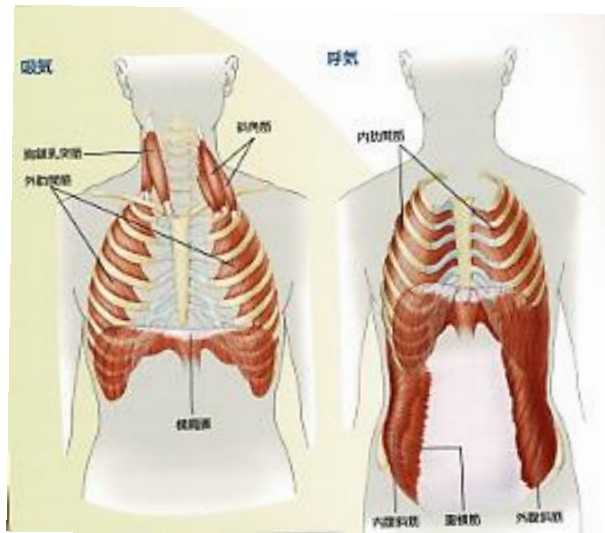


図 47 ラテラル・ブリージングで使われる筋肉群

吸気：横隔膜，外肋間筋，斜角筋，胸鎖乳突筋
呼気：外腹斜筋，内腹斜筋，腹横筋，広背筋，腰方形筋
（ダンスの解剖学より引用）

す。肺を広げ、空気を入れるスペースをつくるのです。骨盤底周辺を締めて引き上げながら、脊柱を伸ばします。引き上げながら立つには骨盤の上に肋骨を乗せ骨盤の中の筋肉を使います。」（レイケネ，2008）と語られている。図 47 にはラテラル・ブリージングに使われている筋肉群を示した。ラテラル・ブリージングで使われる筋肉は呼気では横隔膜，外肋間筋，斜角筋，胸鎖乳突筋であり、吸気では外腹斜筋，内腹斜筋，腹横筋，広背筋，腰方形筋であるとされる。腹腔内圧を上昇させるために働く外腹斜筋，内腹斜筋，腹横筋が呼吸でも重要な働きを担っていることに注目したい。バレエではピラティスと同様に、呼気・吸気とも腹部を平坦化させたまま、横隔膜をつかった胸式呼吸を行う。その場合でも、身体前部の外肋間筋は使わずに、横隔膜と側背部にある外肋間筋を使って息を吸うということになる。

図 48 では動画として MRI 画像を見る事ができる Cine-MRI にて撮影した安静呼吸、腹式呼吸、強制呼気、ピラティス呼吸の横隔膜の運動を示す(河端, 2014)。河端によれば、安静呼吸でも横隔膜は 1cm ほどしか上下運動をしていない。腹部を平坦化したピラティス呼吸では 1~2cm ほどであるので、ほとんど安静呼吸と変わらない。一方、腹式呼吸では 2~3cm の動きがあることがわかり、腹部筋を弛緩させる呼吸では脊柱の安定性が失われる可能性があることがわかる。一方、強制呼気では横隔膜は 4~5cm 変化することがわかった。ハースはダンスでの動作時にコントロールを必要とするような大きな動きなどは能動的(強制)呼気を使って、体幹の微妙なバランスを変化さ

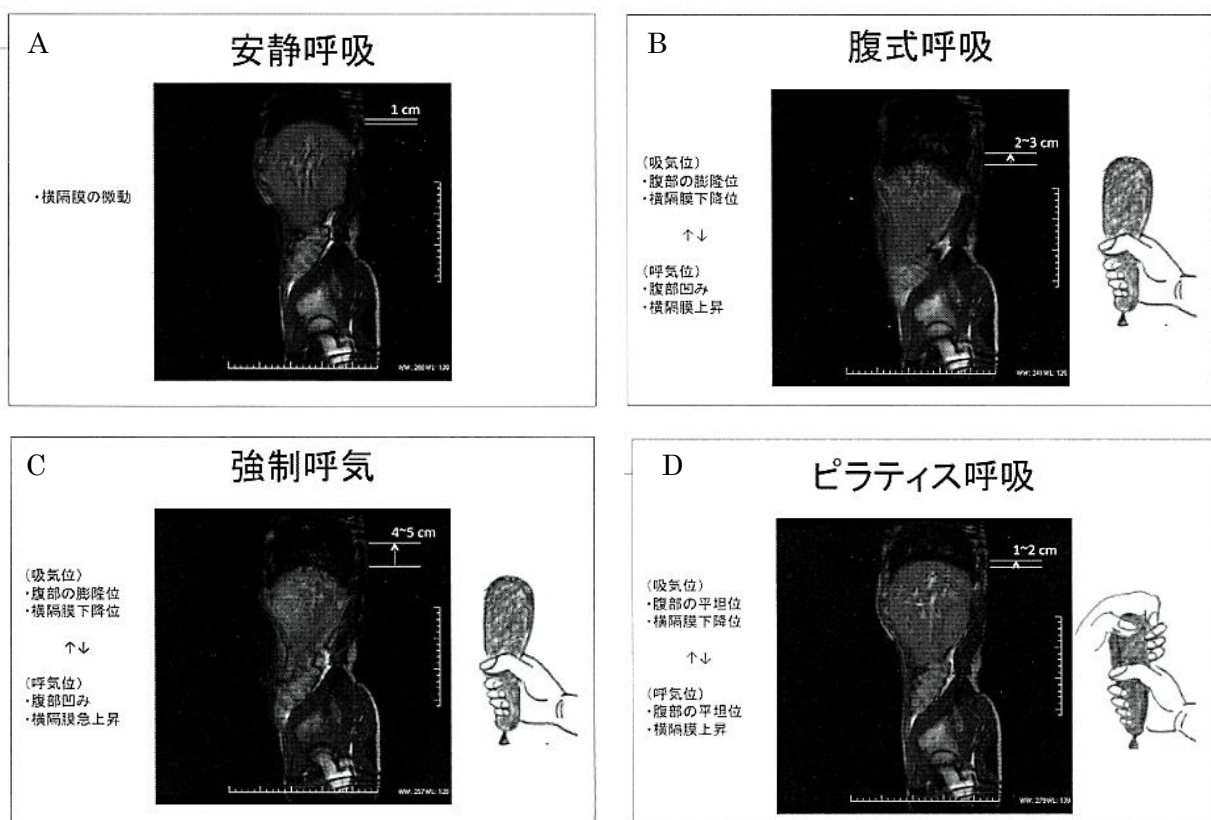


図 48 Cine-MRI 撮影による呼吸時の横隔膜の動き
 A:安静呼吸 (横隔膜の変動 1cm) B:腹式呼吸 (横隔膜の変動 2~3cm)
 C:強制呼気 (横隔膜の変動 4~5cm) D:ピラティス呼吸 (横隔膜の変動 1~2cm)
 (Sportsmedicine 165 コアスタビリティトレーニング再考より引用)

せるように指示している（ハース，2015）。呼吸のコントロールによって、なぜバランスが変化するのかは、体幹筋の使い方によって重心が変化すると考えるとわかりやすい。横隔膜を呼吸によって上下させ、意識的に体幹筋をコントロールすることで、腹腔内圧を変化させ体幹の微妙なバランスをコントロールすることが可能になるのではないか。体幹部の筋肉の働きを意識的に変化させることは、バレエの動作を狭い支持基底面内で行う上で欠かせないスキルと考えられる。

腹腔内圧（IAP）を上昇させたまま、胸式呼吸を続けることができるかの検証を Cholewicki らが実施している。図 49 は IAP を上昇させるような呼吸（努責：バルサバ）をした後、通常の呼吸を行って、胸腔内圧（ITP）と腹腔内圧（IAP）を同時に時間の経過ごとに測定した時のグラフである。ほとんどの被験者は B のように、IAP を上昇させる呼吸（努責：バルサバ）をすると、IAP と ITP は同時に上昇し、時間の経過とともに、両方とも同時に減少する。しかし、被験者によっては、努責後、呼吸をし続けると、ITP は減少しても、IAP だけを高位で保つことができることがわかったと述べている（Cholewicki et al., 2002）。

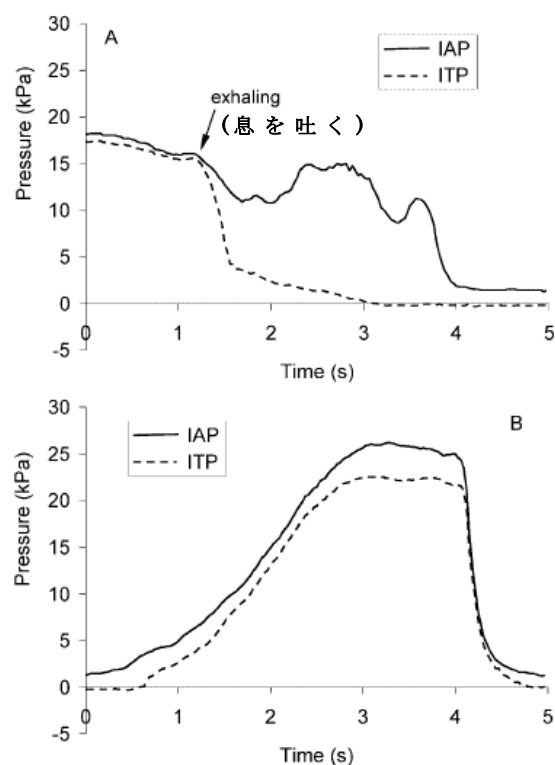


図 49 胸腔内圧（ITP）並びに腹腔内圧（IAP）の時間による変化

A: 息を吐いた後、時間経過とともに胸腔内圧だけが減少し、腹腔内圧を維持することができた例

B: IAP を上昇させようと試みた（努責）後の ITP と IAP の変化。努責（息を止めて、息んだ場合）ITP と IAP は、ほぼ均衡しており、時間の経過とともに両方とも減少する。

（Cholewicki et al. (2002) より引用）

つまり、呼吸筋は不随筋であると同時に随意筋でもあるため、筋の動きを訓練することによって、胸腔内圧が減少しても、腹腔内圧を高位で保つことが可能だと思われる。4章でダンサーはバレエ姿勢時にかなり大きく体幹内部を変化させていた。ダンサーはバレエを踊りながら、体幹部の筋肉を収縮させたり、弛緩させたりすることで呼吸を行いつつ、腹腔内圧を変化させることが可能であると示唆される。これらのことから、バレエ姿勢つまり、通常バレエの現場で言われる引き上げ姿勢は、さまざまなダンステクニックにとって、たんに脊柱アライメントを変化させる以上に重要な働きをしていることが示唆された。

第6節 本研究のバレエ現場での利用

本研究ではバレエ姿勢を保持するための体幹筋の働きについて検証を行った。最後に本研究から示唆されたことを利用して、バレエの現場でバレエ姿勢について解剖学見地から指導が可能か検証を試みたいと思う。図1でとりあげたバレエの正しい姿勢、間違った姿勢を本研究の結果から評価できないか考察してみる（図50）。

耳孔からの垂線を重心線と仮定して補助線を引いてみると、正しいバレエ姿勢（引き上げ姿勢）が重心線に対して、横隔膜、骨盤底、腹腔がほぼ垂直に位置しており、腹部は平坦化し、より少ない筋力で、身体を安定させられていることがわかる。また、横隔膜の位置から、胸式呼吸も無理なくできることがわかる（左）。一方で、スウェイバック（中央）とタック・イン（右）の状態では、重心線に対して、かなりバランスが崩れた状態にあり、腹部は緩み、立位姿勢を保持するだけでも様々な筋を使わなくてはならないことがわかる。

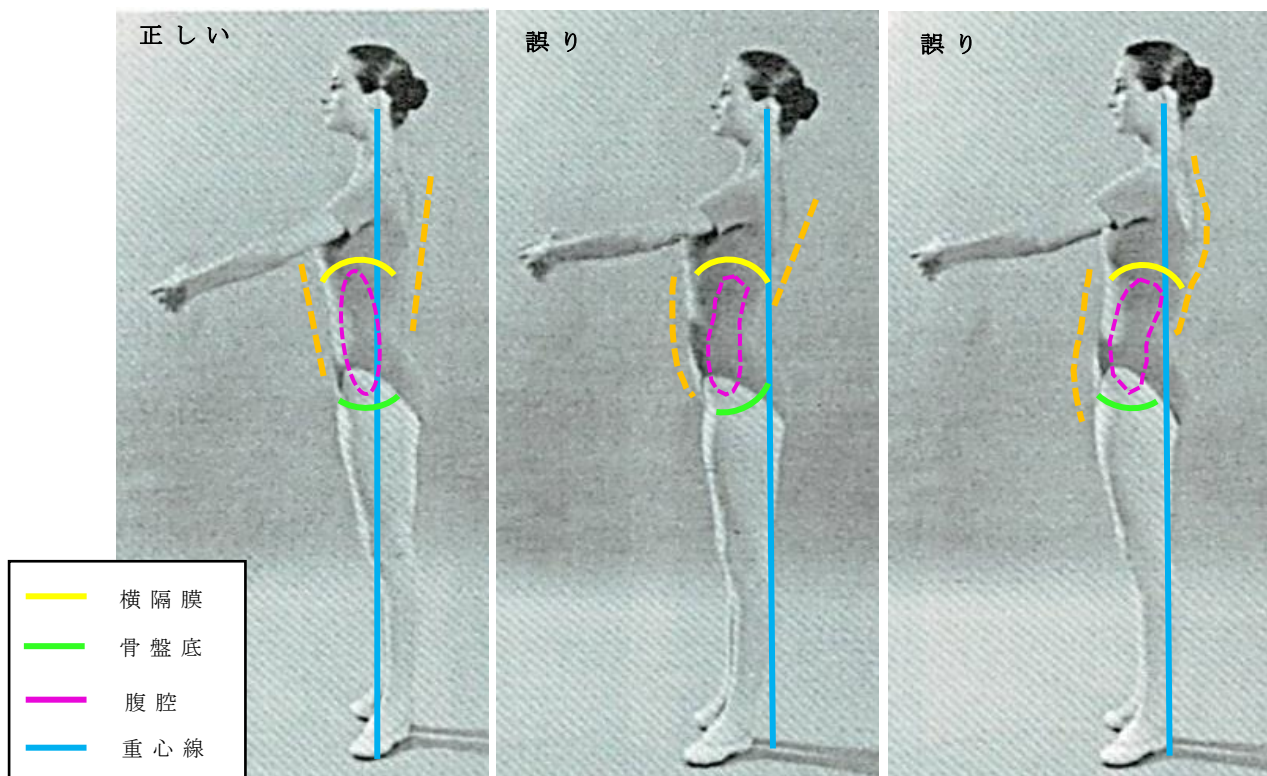


図 50 バレエ姿勢（引き上げ姿勢）の矢状面からの評価

耳孔から垂直に引いた線が重心線を表す。正しい姿勢が重心線に沿って腹圧を上昇させることができ、脊柱を安定化させることのできる姿勢であるかがわかる（左）。重心線に対して、横隔膜、骨盤底の位置から、腹圧をうまくコントロールできていない様子がわかり、重心線に対して無理が生じていることがわかる（中央と右）。（クラシックバレエテクニックより引用、改変）

また、スウェイバックの場合、大腰筋によって、脊柱アライメントが大きく変化していることと、大殿筋と腹筋群のバランスが悪いため、骨盤を中間位に保てていないのではないかと推察できる。また、タックインの場合は、腹腔内圧がほとんど使えないため、腰椎の安定性が保てず、上半身が不安定になり、バランス不全、呼吸不全、体幹部の固定ができないため、動作部の手足にも影響が出ると推察することができる。タックインの姿勢がバレエにとって非常に悪いとされている理由が理解できる。本研究では、X線やCT撮影像を使って体幹内部を検証したが、これらの検証によって、体表面から身体内

部がどのような状態であるのかが理解できる。そのため、本研究の結果をバレエの現場での指導に役立てることは可能であると考えられる。

以上のことから、バレエ姿勢—バレエの現場で言われてきた引き上げ姿勢—に関わる体幹部の筋肉は、脊柱のアライメントを踊るために適切な角度にすると同時に、脊柱起立筋や腹直筋とともに、腹腔内圧によって脊柱を安定化させ、また、筋活動によって引き締められた腹部によって、重心の位置が高くなり、バランスのコントロールを容易にする可能性が示唆された。

第 7 章 参考文献

- Bergmark, A. (1989) Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 230 (Suppl):20-24
- Calais-Garmain, B. (2014) ANATOMY OF MOVEMENT. Eastland Press, pp. 92-100.
- Calais-Germain (2006) Anatomy of Breathing. Eastland Press, pp.128
- Cholewicki, J. , Juluru, K. , and McGill, S. M. (1999) Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 32: 13-17.
- Cholewicki, J., Ivancic, P. C., Radebold A. (2002) Can increased intra-abdominal pressure in humans be decoupled from trunk muscle co-contraction during steady state isometric exertions?. *Eur J Appl Physiol* 87: 127-133
- Cholewicki, J., Panjabi, M.M., Khachatryan, A. (1997) Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spin* 22, pp.2207-2212
- Clark, R. A. , Bryant, A. L. , Yonghao, P. , MaCrory, P. , Bennell, K. , and Hunt, M. (2010) Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait & Posture*, 31: 307-310.
- Cosio-Lima, L. M. , Reynolds, K. L. , Winter, C. , Paolone, V. , and Jones, M. T. (2003) Effect of Physioball and Conventional

Floor Exercises on Early Phase Adaptations in Back and Abdominal Core Stability and Balance in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4): 721-725.

出村慎一・山次俊介・野田政広・北林 保・長澤吉則（2001）静止立位姿勢における足圧中心動揺の評価変数の検討—試行間信頼性と変数相互の関係の観点から—。 *Equilibrium Res.*, 60 (1): 44-55.

藤本鎮也・吉田一也・佐藤慎一郎・秋山純和（2013）体幹と理学療法。 *理学療法—臨床・研究・教育*, 20:7-14.

福井 勉（2000）大腰筋機能の臨床的考察。 *バイオメカニズム学会誌*, 24(3): 153-158.

深代千之・川本竜史・石毛勇介・若山章信（2010）スポーツ動作の科学。東京大学出版会
pp.1-6

Gerbino, P. G. , Griffin, E. D. , and Zurakowski, D. （2006）
Comparison of standing balance between female collegiate dancers and soccer players. *Gait & Posture*, 26: 501-507.

Gildea, J. A. , Hides, J. A. , and Hodges, P. W. (2013) Size and Symmetry of Trunk Muscles in Ballet Dancers With and Without Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43 (8): 525-533.

Gildea, J. A. , Hides, J. A. , and Hodges, P. W. (2014) Morphology of the abdominal muscles in ballet dancers with and without low back pain: A magnetic resonance imaging study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17: 452-456.

グリーグ：上野房子訳（1997）インサイド・バレエテクニク—正し

- いレッスンとテクニックの向上. 大修館書店, pp. 19-40.
- Hass, J. G.(2010) SPINE. In: Hass, J. G, Dance Anatomy. Human Kinetics, pp. 15-20.
- ハース (2015) ダンス解剖学. ベースボール・マガジン社, pp.72-81
- Hodges・Cholewicki・Dieën 編 渡邊裕之監訳 (2015) スパイナル・コントロール—体幹機能と腰痛の最新科学—. ナッブ
- Hodges, P.W., Richardson, C.A. (1997) Contraction of the Abdominal Muscles Associated With Movement of the Lower Limb. *Physical Therapy*, Volume 77- 2: 132-142
- Hodges, P.W., Cresswell, A.G., Daggfeldt, K., Thorstensson, A. (2001) In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the human spine. *Journal of Biomechanics* 34:347-353
- Hodges, P.W., Gandevia, S.C. (2000) Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *Appl Physiol* 89: 967-976
- Hodges, P.W., Ericsson, A.E.M., Shirley, D., Gandevia, S.C. (2005) Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 38-9: pp. 1873-1880
- 堀本美和・アクリ (2013) バレエ魅せるポイント 50. メイツ出版, pp,10
- 星川佳広・飯田朝美・村松正隆・内山亜希子・中嶋由晴 (2006) 高校生スポーツ選手の競技種目別の大腰筋横断面積. *体力科学*, 55: 217-228.
- Hu, H. , Meijer, O. G. , van Dieën, J. H. , Hodges, P. W. ,

- Bruijn, S. M. , Strijers, R. L. , Nanayakkara, P. W. , van Royen, B. J. , Wu, W. H. , and Xia, C. (2011) Is the psoas a hip flexor in the active straight leg raise?. *European Spine Journal*, 20: 759-765.
- Hugel, F. , Cadopi, M. , Kohler, F. , and Perrin, P. (1999) Postural control of ballet dancers: a specific use of visual input for artistic purposes. *Int. J. Sports Med.*, 20(2): 86-92.
- 猪口清一郎・菅宮 齊・柴田昌和・鈴木雅隆・伊藤純治 (2002) 体幹筋の CT 画像による年齢的变化の観察. *Anthropological Science (Japanese Series)* : 109(2), 71-83
- 石井美和子 (2006) 体幹機能障害—体幹の機能障害がもたらす姿勢・運動への影響—. *理学療法*, 23:1394-1400
- Kappa カパンディ (1986) 関節の生理学Ⅲ. 体幹・脊柱. 医歯薬出版
- 河端将司 (2014) コアスタビリティトレーニング再考—腹圧と呼吸からの検討—. *Spotsmedichine* 165, pp.8-15
- 小島正義 (2012) 誰でもわかる動作分析Ⅲ. 南江堂 pp.77
- 狩野 豊・秋間 広・久野譜也 (2000) トップアスリートの MRI, スポーツ医学における MR 画像の応用—診断と最新の研究・展望を中心に—. *臨総スポーツ科学臨時増刊号*, 17: 33-37.
- 久野譜也・金 俊東・衣笠竜太 (2001) 体幹深部筋である大腰筋と疾走能力の関係. *体力科学*, 51(6): 428-432.
- クリッピンガー: 森下はるみ監訳 (2013) ダンスの解剖・運動学大辞典. 西村書店, pp. 61-102.
- Livanelioglu, A., Otman, S., Yakut, Y., Uygur, F. (1998) The

effects of classical ballet training on the lumber region.
Journal of Dance Medicine and Science. 1(3):107-112

松田雅弘・塩田琴美・高梨 晃・野北好春・川田教平・宮島恵樹・細田昌孝・渡邊 修（2009）腰部ベルト装着時の静的・動的立位バランスの特性．*理学療法科学*, 24(4):489-492.

三谷保弘・森北育宏（2008）静的立位における矢状面で腰仙椎アライメントと体幹筋力および下肢筋伸張性との関係．*理学療法科学*, 23(1): 35-38.

三浦雅士（2000）バレエ入門．新書館, pp107-132

森山進一郎・金沢翔一・北川幸夫・柴田義晴（2015）競技経験のない一般女子学生のクロール泳における異なる速度による腹腔内圧および体幹筋活動の変化．*体育測定評価研究*, Vol.15 pp.2-49

中野友加里（2010）クラシックバレエを取り入れたフィギュアスケーターにおける表現力の習得課程．*早稲田大学人間科学研究*, Vol.23 p.89

大川昌宏・菅原 勲・櫻井忠義（2004）体幹部の筋横断面積および機能に関する陸上競技やり投げ選手と他の投擲選手との比較．*体力科学*, 53: 411-424.

大木裕子（2010）ロシアのバレエに関する一考察．*京都マネジメント・レビュー* 17, pp27-48

大野久留美・上原三十三（2011）新体操における動きの構造特性．*愛教育大学保健体育講座研究紀要*, No.36 pp.7-15

Peltonen, J. E. , Taimela, S. , Erkintalo, M. , Salminen, J. J. , Oksanen, A. , and Kujala, U. M. (1998) Back extensor and psoas muscle cross-sectional area, prior physical training, and trunk

- muscle strength – a longitudinal study in adolescent girls. *European Journal of Applied Physiology*, 77: 66-71.
- Perrom, P. , Devoterme, D. , Hugel, F. , and Perrpt, C. (2002) Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait & Posture*, 15: 187-194.
- レイネケ (2008) バレエ・ピラティス BASIC (DVD). 新書館
- リチャードソン・ホッジ・ハイデ : 齋藤昭彦訳 (2008) : 腰痛に対するモーターコントロールアプローチ. 医学書院, pp. 28-66.
- ローズ (2005) 蘆田ひろみ (監訳) 佐野奈緒子・小田伸午 (訳) やさしいダンスの物理学. 大修館書籍 pp.32-43
- ローソン : 森下はるみ訳 (1995) バレエのサイエンス. 大修館書店, pp. 2-24.
- ローソン : 森下はるみ訳 (2003) バレエの基本レッスン. 大修館書店
- ロイヤル・アカデミー・オブ・ダンシング編・キーン訳 (1997) ステップ・バイ・ステップ バレエクラス イラスト付き公式バレエ等級別教則本. 文化出版局, pp.28
- 齋藤昭彦 (2007) 体幹機能障害の分析及び治療. *理学療法科学*, 22(1) : 1-6.
- 齋藤愛見 (2012) BALLET COACHING 考えるダンサーを育てる. 叢文社, pp.33-36
- 佐々木邦雄・小川 光・有水 淳・合志光平 (2001) 股関節～腰仙椎の矢状面アライメントのレ線学的検討—正常男子における—. *整形外科と災害外科*, 50: (4) 1015-1017.
- Schmit, J. M. , Regis, D. I. , and Riley, M. A. (2005) Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes.

Experimental Brain Research, 163: 370-378.

新関真人 (2013) 図解姿勢検査法. 医道の日本社, pp10

末吉のり子・太田玉紀・村山敏夫 (2015) クラシックバレエにおける「引き上げ」姿勢の脊柱 X 線撮影および体幹 CT 撮影像からの検討: 幼少期からバレエを継続中の 30 代と中高年バレエ愛好家との比較から. 新潟体育学研究, 33: 29-34.

末吉のり子・村山敏夫 (2016) クラシックバレエにおけるバーの保持方法が立位バランス能力に与える影響. 新潟体育学研究, 34: 63-68

スパージャー: 小川正三ほか訳 (1990): やさしいダンスの解剖学. 大修館書店, pp. 27-40.

鈴木 哲・平田淳也・栗本鮎美・富山 農・植田一輝・小田佳奈枝・高橋正弘・渡邊 進 (2009) 片脚立位時の体幹筋活動と重心動揺との関係. 理学療法科学, 24(1): 103-107.

種本 翔・渡邊 進 (2012) 体幹深部筋群に対する運動介入が立位重心動揺に及ぼす影響. 理学療法科学, 27(1): 47-50.

建内宏重 (2015) 姿勢制御. 樋口貴広・建内宏重. 姿勢と歩行—協調からひも解く—. 三輪書店, pp. 2-29.

角田直也・金久博昭・福永哲夫・近藤正勝・池川繁樹 (1986) 大腿四頭筋横断面積における各種競技選手の特性. 体力科学, 35: 192-199.

海野 敏・高橋あゆみ・小山久美 (2012) 日本のバレエ教育機関における教師の現状と課題—『バレエ教育に関する全国調査』に基づく考察. 舞踊学, 35: 13-22.

渡部雄樹・柘谷真士・佐々木 誠 (2004) 片麻痺患者における座位時の圧中心軌跡 (COP) に対する腹部ベルト装着の影響. 理学療法

ル・コントロール 体幹機能と腰痛の最新科学. ナップ pp.48
科学, 19(2):131-135.