

博士学位論文審査要旨

2020年2月4日

論文題目： バレエダンサーの障害発生にターンアウトが及ぼす影響の検討

学位申請者： 橘 未都

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 柳田 昌彦

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

要 旨：

クラシックバレエ（以下バレエ）は、形式を重んじ厳格に定められた技法と振り付けで踊る歌詞や台詞を伴わない舞台芸術であり、その基本姿勢である股関節外旋位（ターンアウト）が種々の障害発生に関係していると指摘されているが、それを詳細に検討した報告はほとんどない。

本博士論文では、個々のバレエダンサーの持つターンアウト能力を正確に評価する方法を確立することとターンアウトがバレエダンサーの下肢にかかる力学的負荷をバイオメカニクス手法を用いて正確に評価することを最初の目的としている。次にバレエダンサーの障害発生を詳細に調査し、個々のバレエダンサーのもつターンアウト能力と障害発生の関係を統計学的手法を用いて評価している。そのため、研究を研究1、2、3の3段階に分けて実施している。

研究1では、バレエダンサーのターンアウト能力を客観的に把握するために、床と足底の摩擦によって維持する最大外旋位のターンアウト（Class Turnout ; CT）とともに、床の摩擦力を排除したバレエダンサー自身の持つターンアウト能力（Functional Turnout ; FT）を測定できる機器（ローテーションゴニオメーター）を開発し、その有用性を評価した。

研究2では、足部と床との摩擦力を用いた無理なターンアウト保持によってバレエダンサーの下肢にかかる負荷を、三次元動作解析装置と床反力計を用いたバイオメカニクス手法で計測した。その結果、足部・足関節にかかる負荷が高いほど足部・足関節に強く外反外旋変形が生じることを報告した。

研究3では、バレエダンサーの障害をアンケート調査だけでなくその障害に精通した医師によるメディカルチェックも併用することによってバレエダンサーの障害を正確かつ詳細に評価し、そのターンアウト能力と障害との関係をより詳細に統計学的に評価し、ターンアウト角度の小さいバレエダンサーに障害発生傾向が高いことを証明した。

本研究で得られた成果は、幼少時からバレエダンサーが基本動作として実施させられるターンアウトがバレエダンサーの下肢に強い負荷をかけることをバイオメカニクスの手法を用いて客観的に証明し、特にターンアウト能力の低いダンサーほどその影響によって障害を発生する可能性が高くなることを統計学的に証明した初めての報告であり、これまで経験的になされているクラシックバレエのレッスンや指導法に対して、バレエダンサー個々の持つ柔軟性や能力に合わせた指導の必要性を提唱する明確なエビデンスを提供する非常に有用な研究成果であり、高く評価できる。

以上のことから、博士（スポーツ健康科学）（同志社大学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。

総合試験結果の要旨

2020年2月4日

論文題目： バレエダンサーの障害発生にターンアウトが及ぼす影響の検討

学位申請者： 橋 未都

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 柳田 昌彦

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

要 旨：

本論文提出者は、2015年4月より本学大学院スポーツ健康科学研究科スポーツ健康科学専攻博士課程（後期課程）に長期履修生として在学している。

修了に必要な単位取得としては、授業科目において「身体適応科学深論」「スポーツ医科学新論」の2科目4単位を、そして研究指導科目において「スポーツ健康科学特殊研究Ⅰ～Ⅵ」の6科目12単位を履修しており、必要単位数を満たしている。

また、各年度において優れた研究成果を挙げ、英語の語学試験にも合格しており十分な能力を有すると認定されている。

博士論文の内容の一部は *Journal of Dance Medicine & Science* に筆頭著者として掲載された。他の知見に関しては投稿準備中である。

2020年1月29日15時30分より約50分にわたり提出論文に関する学術講演会（博士学位論文公聴会）が開催され、種々質疑討論がなされたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。また、審査委員により論文内容ならびにこれらに関連する諸問題について約2時間にわたり口頭試問を実施した結果、本論文提出者は研究者として十分な学力を有することが認められた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： バレエダンサーの障害発生にターンアウトが及ぼす影響の検討

氏名： 橘 未都

要旨：

【緒言】

クラシックバレエ（以下バレエ）は舞台芸術であるが、競技スポーツ同等の高い身体能力が要求されるため、多くのバレエダンサー（以下ダンサー）が障害に悩まされる。特にバレエ特有の過剰な柔軟性の要求がその原因のひとつと考えられ、その中でも基本肢位であるターンアウト（Turnout, 以下 TO）は障害発生との関係が指摘されている。

TO はバレエの動作の起点となる肢位であり、両脚を 180°外旋させることを理想とする。しかし、現実的に片脚 90°の股関節外旋が可能なダンサーは少ない。そのため、多くのダンサーは、股関節が外旋 90°に満たない角度を、他の関節を無理に外旋し代償させることで不足角度を補おうとする。その際には足と床との摩擦力を利用して再び内旋しないように角度を保持する。その結果、無理に外旋させた足部、足および膝関節に負荷がかかり障害発生のリスクが高まる。そのため TO 時に無理に大きな代償角度を獲得しているダンサーほど障害を生じる可能性が高いと想定される。しかし、その力学的負荷を詳細に評価し、障害発生と TO との関係を検討した報告は少ない。

【目的】

ダンサーの障害発生に TO が及ぼす影響を検討することを目的に、以下の研究①、②、③を実施した。

研究①：TO 能力測定機器を開発し、その機能性を評価した。

研究②：バイオメカニクス的手法を用い TO 時に各関節（足関節・膝関節・股関節他）にかかる負荷を定量評価した。

研究③：障害調査を行い、TO が障害発生に及ぼす影響を検討した。

【用語の定義】

3 種類の TO を以下に定義する。

* Functional Turnout (FT)：ダンサーが立位荷重時に個々の筋力のみで到達できる TO

* Class Turnout (CT)：ダンサーがレッスンで行う摩擦利用や代償動作などを伴う TO

* Active Turnout (AT)：ダンサーが仰臥位非荷重時に個々の筋力のみで到達できる TO

【研究①】ローテーションルゴニオメータ (RGM) の作製

足と床の摩擦を用いずに TO 可能な能力を評価するため、ローテーションルゴニオメータ（以下 RGM）を開発し、その機能性を評価した。

1) 方法

過去 1 年に障害歴のない 10 年以上の経験を持つ 20 名の成人女性ダンサーを対象とした。

第 1 ポジション（以下 1stP）の FT 角度、CT 角度、AT 角度を測定した。FT 角度は RGM 上で 5 秒間維持できる最大 TO 角度とした。CT 角度はダンサーの骨盤の高さから足元に向けて設置したカメラで上方から撮影し計測した。AT 角度は、仰臥位下肢伸展位、足関節 90°背屈位で TO を

行なわせ、足底側から写真撮影して計測した。CT および AT 角度は、写真上の第二中足骨頭と踵骨アキレス腱付着部とを結んだ左右 2 本の線のなす角度を ImageJ (NIH, Bethesda, USA) で計測した。

統計処理は、Sidak 法を伴う反復測定分散分析を行い、各 TO 角度を多重比較した。ピアソンの相関係数を算出し FT 角度に対する CT および AT 角度の相関関係を、級内相関係数 (ICCs) を算出し再現性を検討した。有意水準は 0.05 とし、統計処理には SPSS 24 (IBM, USA) を用いた。

2) 結果

FT 角度、CT 角度、AT 角度の各群間に有意差を認め、CT ($128.7 \pm 15.1^\circ$) $>$ AT ($110.9 \pm 17.7^\circ$) $>$ FT ($103.9 \pm 15.2^\circ$) であった。ピアソンの相関係数から、FT 角度と CT 角度 ($r=0.54$)、FT 角度と AT 角度 ($r=0.78$) の間に相関を認めた。ICC 値から、FT=0.960、CT=0.961、AT=0.958 と高い信頼性が示された。

【研究②】 TO 時の下肢にかかる力学的負荷の評価

研究②-1：3次元動作解析装置を用いて、足と床の摩擦力および各関節の代償外旋角度を測定した。

研究②-2：足圧計を用いて TO 時の足圧分布を計測した。

【研究②-1】 3次元動作解析評価

1) 方法

過去 1 年に障害歴のない 10 年以上の経験を持つ 12 名の成人女性ダンサーを対象とした。

1stP における FT および CT を対象とし、モーションキャプチャシステム (Motion Analysis, Mac3D System) とフォースプレート (4060, Beltech) を用いて、足と床の摩擦力および各関節の代償外旋角度等々を評価した。サンプリング周波数は 240Hz、反射マーカは被験者の 57 箇所の解剖学的骨特徴点に貼付した。

計測データを筋骨格解析ソフトウェア (SIMM, MusculoGraphics, USA) を用いて解析し、重心位置、関節角度、ローテーションモーメント (以下 RM) を算出した。モーメントは体重で除することで規格化し、TO 時の床と足の摩擦力として評価した。

統計処理には対応のある 2 群の t 検定を用いて、FT と CT 間の各パラメータを比較した。摩擦の影響を検討するため、FT と CT の各パラメータの差を代償動作として算出した。更に各パラメータ間のピアソンの相関係数を算出した。有意水準は 0.05 とし、統計処理には SPSS 24 を用いた。

2) 結果

FT と CT 間で、TO 角度、骨盤前傾角度、股関節外旋角度、足関節外旋角度、RM、前後方向の重心位置に有意な差を認めた。TO 角度と股関節外旋角度 ($r=0.716$)、RM と足関節外旋角度 ($r=0.760$) との間に強い正の相関を認めた。TO 角度と RM ($r=0.690$) および足関節外旋角度 ($r=0.699$)、足関節外旋角度と重心位置上下方向 ($r=0.651$) との間に中程度の正の相関を認めた。

【研究②-2】 TO 時の足圧分布

1) 方法

10 年以上の経験を持つ 20 歳以上の現役ダンサー 87 名を対象とした。

第 6 ポジション (6thP)、FT 時および CT 時の第 1 ポジション (1stP) を対象とした。測定にはフットビューシステム (ニッタ社製) を用い、立位静止時の足圧分布を評価した。足底領域を母趾・小趾・踵の 3 区域に分類し、各区域の足圧ピーク値を評価に用いた。各区域の足圧ピーク値の平均値の全 3 区域合計を 100% として各区域を 100 分率評価した。

Sidak 法を伴う反復測定分散分析で多重比較を行い、ポジション毎の各区域の 100 分率値を比較した。有意水準は 0.05 とし、統計処理には SPSS 24 を用いた。

2) 結果

各ポジション間の母趾区域に有意な差を認め、CT>FT>6thPであった。また、小趾区域にも有意な差を認め、6thP>FT>CTであった。踵区域は有意な差が認められたが、6thPとCTとの間のみ有意差を認めた。

【研究③】障害発生とTOとの関係

1) 方法

10年以上の経験を持つ20歳以上の現役ダンサー87名を対象とした。障害発生とTOとの関係を検討するために、研究①の方法にもとづきFT、CT、ATのTO角度を計測した。

ダンサーの障害に関する調査は、バレエの障害に精通した整形外科専門医によるメディカルチェックと、過去2年間に発生した障害のアンケート調査を実施した。障害を発生回数によって0対1以上に分類した。統計処理は、クラスタ分析、 χ^2 検定、一要因の分散分析の順で行った。有意水準は0.05とし、統計処理にはSPSS 26 (IBM, USA)を用いた。

2) 結果

FT角度が大きいダンサー ($129.2\pm 8.7^\circ$) は、現在ある膝関節障害および過去2年間の膝関節障害において有意に障害発生率が低かった。CT角度が小さいダンサー ($118.6\pm 8.4^\circ$) は、大きいダンサー ($152.4\pm 4.5^\circ$) より現在ある痛みを伴う障害の発生率が高く、角度が中間のダンサー ($134.1\pm 4.6^\circ$) よりも現在ある痛みを伴わない膝関節障害の発生率が高かった。AT角度が小さいダンサー ($100.2\pm 9.0^\circ$) は、中間のダンサー ($122.8\pm 6.7^\circ$) より現在ある痛みを伴わない障害発生率が高かった。FT角度とCT角度の差においては有意な差を認めなかった。FT角度とAT角度の差が小さいダンサー ($-1.7\pm 5.2^\circ$) は、差が大きいダンサー ($14.2\pm 8.3^\circ$) よりも現在ある痛みを伴う障害の発生率が高かった。CT角度とAT角度の差が大きいダンサー ($22.6\pm 9.6^\circ$) は、差が小さいダンサー ($4.1\pm 2.9^\circ$) よりも現在ある痛みを伴わない足関節障害の発生率が高かった。

【考察】

最も広く股関節を外旋できるとされる非荷重時でも、TOの理想である両脚180°の股関節外旋を行えるダンサーは存在しなかった。重力が影響し、靭帯や筋の緊張が起こる荷重時では更に到達できる股関節外旋角度は減少することが明らかとなり、ほとんどのダンサーにとって摩擦利用は不可欠であることが示唆された。

これまでの報告から、CT時にダンサーが膝関節および足関節の外旋または足部の外転を行うことは指摘されていたが、摩擦利用を検討した報告はなかった。摩擦は下肢の関節の外旋角度を有意に増大させ、特に足関節に影響を及ぼすことが本研究から明確になった。Carterらも足部の外転、足関節の外反および外旋角度が最もCT時に増大していたと報告している。足関節の動作は足部の関節と関連して作用する。床と直に接している足部が最も摩擦の影響を受けるため、足関節の外旋角度は他の関節に比べ増加したと示唆される。そのため、足部および足関節はTO時に負荷がかかり易くなると考える。

過去の障害調査および本研究の障害調査では、足部および足関節の障害発生率が最も高かった。TO時に最も摩擦利用の影響を受けるにも関わらず、TO角度と足関節および足部の障害発生との関係は認められなかった。このことは、バレエの特徴的肢位であるつま先立ちの影響も考慮し複合的に評価する必要性を示した。

FT角度とCT角度の差は障害発生に関連しないことが研究③より明らかとなったが、TO能力が低いダンサー、AT可動域の小さいダンサーおよびCT時に摩擦を利用しても大きなTO角度を獲得できないダンサーは障害発生率が高いことが示された。TO能力が低いダンサーは筋力不足および筋のコントロール能力が低く、適切に下肢をコントロールできず、下肢のアライメント不良を起こす可能性が考えられる。AT角度が小さいことは、ダンサーの持つ柔軟性が低いことを

示す。そのため、柔軟性の高いダンサーと同様に摩擦を利用し TO を行うと、靭帯や関節がよりストレスを受ける可能性がある。また、摩擦を利用しても TO 角度を増大できないということも、ダンサーの持つ可動域の狭さを意味する。可動域の狭いダンサーは TO の際に、股関節最大外旋域に直ぐに到達し、その代償のため、他の下肢の関節に外旋を強制し、より負荷をかけることになる。

これらのことは、個々のダンサーの持つ外旋可動域が障害発生の原因となる可能性を示した。

【結語】

ダンサーの TO 能力評価を目的に RGM を開発した。TO 角度が小さいダンサーは障害発生頻度が高いことが示された。そのため、自己の TO 能力を正確に把握しておくことが障害発生の予防に繋がると考える。