

## 博士學位論文要約

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： 橋 未都

要約：

### 【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】ローテーションナルゴニオメータ (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、ローテーションナルゴニオメー

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 法を伴う反復測定の分散分析を行い、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。

### 3) 考察

FT 角度は CT 角度より有意に小さかったことよりターンアウト時にバレエダンサーは代償動作を行う傾向があることを実証した。そして、AT 角度は FT 角度より大きく、両角度には強い正の相関があることが明らかとなったことから、荷重がターンアウト角度に影響を与えることが示された。RGM はターンアウト時の摩擦利用を制限し、立位荷重したなかで実際の基本ポジションを測定中に再現したため、本来の身体が発揮できるターンアウト角度（ターンアウト能力）の評価に適していることが示された。

## 【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。

## 3) 考察

摩擦を利用し代償動作を伴った CT においても、 $180^\circ$  の TO 角度に到達したダンサーは存在しなかったことから、理想とする角度に到達することは容易ではないことが示された。また、摩擦を利用した際は、股関節外旋角度は有意に増加し、足関節では代償動作が行われ、ターンアウト角度の獲得には足関節が最も影響を与えることが証明された。

### 【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 法を伴う反復測定の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 との間にのみ有意差を認めた。

#### 3) 考察

母趾区域の足圧分布が有意に増加していたことは、バレエダンサーが高度なバランスを保つだけでなく、CT 時に下肢が内旋方向に戻ろうとする力を母趾区域の筋を有意に活用し、ターンアウト角度を維持していることを示した。

### 【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、 $\chi^2$ 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。

## 3) 考察

FT角度、CT角度、AT角度のいずれにおいても、小さい角度を示したダンサーにおいて障害発生が認められたことから、ターンアウト能力のみでなく、本来の可動域が狭く筋力が弱いバレエダンサーは障害発生数が増えることが明らかとなった。

### 【総合考察】

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に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。