©NSCA JAPAN
Volume 30, Number 10, pages 5-14



特集 feature

# バレエダンサーの身体コンディショニングのための基礎知識～体力特性に着目して～

**井村 祥子,** Ph.D., 東京都立大学 人間健康科学研究科 ヘルスプロモーションサイエンス学域 助教

## 1. はじめに

令和4年度文科省「スポーツの実施状況等に関する世論調査」(54)によると、バレエ、ダンス、ヨガ、ピラティスといったダンス系フィットネスは、女性の間では最も人気が高い運動種目である。今日「ダンス」と呼ばれる西洋舞踊の一部(モダンバレエ、コンテンポラリーダンス[審美性以外の印象を与える運動についても身体芸術として取り入れるダンス]、ジャズダンスなど)は、クラシックバレエに端を発したものが多い。クラシックバレエは、ジャンプや回転といったダイナミックな運動を足の様々なステップで繋げる身体芸術である**(図1)**。美しさを表現する身体技法として、ターンアウト(**図2**、下肢の外旋位)やポワント(先の硬い特殊な靴であるトウシューズでつま先立ちを行なうこと)などほ、かのスポーツには類をみない動きが生み出されてきた。こうした動作を実現するためのコンディショニング法として、ヨガやピラティスなど様々なトレーニングが取り入れられている。トレーニング目的の多くはパフォーマンスの向上や傷害予防であるが、クラシックバレエでは、特に筋肥大に伴う形態的変化と、健康的・理想的なプロポーションを両立させることも求められる。ダンス動作の源流となるクラシックバレエを中心に、ダンサーに必要な体力特性を理解しトレーニング計画を組むことは、多くのダンサーが直面する傷害、パフォーマンス改善といった課題を解決する最短経路となる。

ダンサーの体力については、2010年以降では主に傷害予防を目的としたシステマティックレビューで触れら

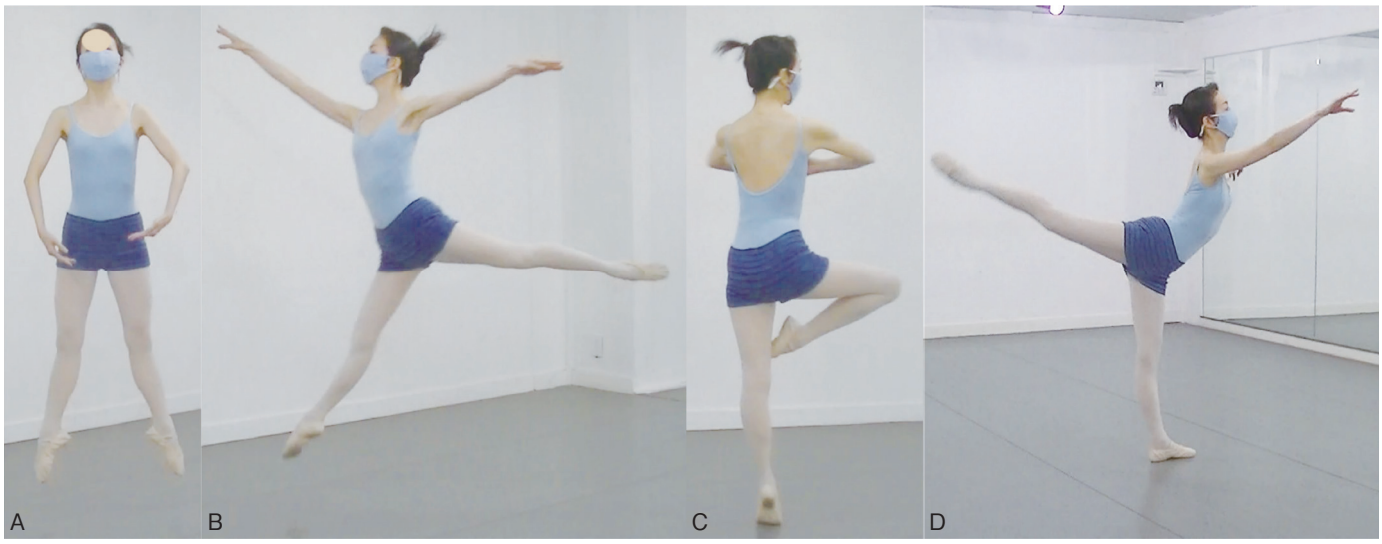



図1　クラシックバレエのステップ。(A)ソテ(両脚ジャンプ)、(B)シソンヌ・フェルメ(片脚ジャンプ)、(C)ピルエット(片脚支持回転)、(D)アラベスク(下肢の後方挙上)

れている。2022年に発行されたレビュー(13)では、バレエレッスンに加えて補助的なトレーニングを付加すると80%の研究で受傷率の低下などの効果がみられることが報告されている。その一方で、介入期間中に不定愁訴を訴える者が出たり、参加者の約半分がトレーニングを中断するケースもある(42,64)。疲労が原因と考えられる傷害を予防するために、まずは体格や有酸素運動能力、バレエ特有の下肢の外旋(ターンアウト)、柔軟性などの基本的な体力について把握し、さらにジャンプなどの技術に必要な体力特性を理解して、コンディショニング内容を選択する必要があると考える。本稿では、まずバレエダンサーの身体的特徴について述べ、次にクラシックバレエで重視される姿勢保持、ジャンプなどの運動に関連した体力特性について述べる。最後に、先行研究でトレーニング効果があった事例について紹介する。

図2　下肢の外旋位(ターンアウト、左)と中立位(右)の比較

## 2. バレエダンサーの身体

### 2.1 体格

一括りにダンサーといっても、実際に行なうパフォーマンスの内容に応じて体格や身体組成は異なる。他ジャンルの女性ダンサー(コンテンポラリーダンス、競技ダンス[社交ダンスから発展したスタイルで男女がペアとなり披露するパフォーマンスを競う])に比べ、女性クラシックバレエダンサーはBMIおよび体脂肪率(それぞれ18.7±1.3、17.0±2.8%)が低いことが報告されている(34)。日本人成人女性バレエダンサーの体脂肪率も同程度(17.0±2.8%)であり、クラシックバレエダンサーは筋肉質な体つきであるといえる。

成人女性非ダンサーの体脂肪率が23.7±4.5%(30)であることを考慮すると、女性バレエダンサーの栄養状況が不安視される。栄養所要量が推奨よりも低いダンサーでは、傷害がより重く、回復に時間がかかったという報告がある(5)。バレエはコンテンポラリーダンスに比べてエネルギー支出も少ないことから(4,12,29)、女性バレエダンサーは、摂取エネルギーをバレエレッスンだけで消費できるとはいいがたい。また、レッスン内のバーワーク(支持台に用意されたバーに手を添えて行なう。下肢の屈伸や素早い動き、バランスなどの訓練)とフロアワーク(ジャンプ、ステップ、回転を繋げた、舞台上で行なわれるような一連の動きの訓練)の割合によってもエネルギー支出は異なる**(表1、2)**(12)。バレエダンサーのウェスト周囲径/腰回り周囲径、およびウェスト周囲径/大腿周囲径はそれぞれ0.71±0.04、1.19±0.08であり(57)、これらの値が小さいことが好ましいとされるが(29)、体形と身体組成を健康的かつバレエの観点から理想的な状態に近づけるためには、個人の運動量を把握した上での対応が求められるといえる。

### 2.2 有酸素運動能力

疲労によって傷害を負うリスクが高まることが指摘されており(19,37,68)、有酸素運動能力を高めておくことはボディコンディショニングのうちのひとつといえる。実際に女性プロダンサーの調査において、20分間の持続的運動後の心拍数と15週間のうちに負った受傷頻度には、有意な正の相関がみられる(61)。バレエダンサーは、長距離走選手やトライアスロン等の持久系種目と比べると6割程度、サッカーやテニスなどの間欠的運動や体操などの高強度運動と比べると8割程度の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2max$)で、女性では42～50 ml/kg/min、男性では48～60 ml/kg/minと幅がある**(表3)**(62)。また、$\dot{V}O_2max$は、主役級のプロダンサー(プリンシパル)および群舞ダンサー(コールドバレエ)でおおよそ44.6～50.0 ml/kg/min、準主役級ダンサー(ファーストアーティスト)およびソロパートのあるダンサー(ソリスト)でおおよそ39.0～47.0 ml/kg/minと、前者が後者に比べ大きいことも報告されている(68)。バレエに使用される音楽の速さでは、アダージョ(BPM[分ごとの拍数]56前後)、アンダンテ(BPM72前後)、アレグロ(BPM132前後)の順にテンポが速くなる。アレグロは、おおよそエアロビクスダンスで用いられる音楽の中級レベルの速さである。緩やかな踊りが中心のアダージョでは心拍数は低く、ジャンプが続くアレグロの

| 表1　プロクラシックバレエダンサーの消費エネルギー（男性：4名、女性：6名）（12） | | |
|---|---|---|
| | バーワーク | フロアワーク |
| 消費カロリー（kcal/min/kg） | 男性0.09±0.01 | 男性0.13±0.02 |
| | 女性0.08±0.02 | 女性0.10±0.02 |
| METs（代謝当量） | 男性5.25±0.57 | 男性7.52±0.97 |
| | 女性4.86±0.96 | 女性5.73±1.18 |

METs4.8～5.0：ゆったりとした水泳、速歩　METs5.0～6.0：ゆっくりとしたジョギング、ウェイトトレーニング、バスケットボール、子どもと遊ぶ
METs6.0～7.0：山登り、サッカー、自転車エルゴメータ、スキー、スコップで雪かき　等に該当する（生活活動のMETs表2023年8月版より）

| 表2　表1におけるバーワークおよびフロアワークの内容（12） | |
|---|---|
| バーワーク | |
| A | アダージョ3/4（4分）：ドゥミプリエとグランプリエ、ポール・ドゥ・コープ、シュスでバランス |
| B | モデラート4/4（4分）：プリエとフレックスでバットマン・タンジュ、ターンイン・アウト |
| C | アレグロ4/4（1分55秒）：バットマン・デガジェ、パ・ドゥ・シュヴァル |
| D | アダージョ3/4（5分）：ロン・ド・ジャンブ・ア・テール、ルティレからアラベスク（フラットとルルベ）、円形ポール・ドゥ・コープ、ルルベパッセ |
| E | アレグロ3/4（1分45秒）：バットマン・ドゥーブル・フラッペ、パッセからアティチュードでバランス、アラベスク |
| F | アダージョ4/4（6分）：デヴェロッペからグラン・ロン・ド・ジャンブ、アラベスク・パンシェ、ルティレからパッセ、デヴェロッペから2番、ポール・ド・ブラ、ルルベを繰り返し、ランジからアラベスク、ルルベでバランス |
| G | アレグロ4/4（1分15秒）：グラン・バットマン（ポワント、フレックス、デヴェロッペ、ルティレ）、パッセでバランス |
| フロアワーク | |
| Ⅰ | モデラート4/4（1分20秒）：デガジェ、クペ・バロネ、パ・ド・ブーレ、ピルエットアンドゥオール・アンデダン |
| Ⅱ | アダージョ3/4（2分）：ステップ、ピケ・アラベスクとアン・ナヴァン、グラン・ロン・ド・ジャンブ、パドブレ・アン・トゥルーナン |
| Ⅲ | モデラート3/4（1分25秒）：ワルツフレーズ、アラベスクとアティチュードでターン、バランセ・アン・トゥルーナン、ピルエットアンドゥオール・アンデダン |
| Ⅳ | プティアレグロ4/4（1分）：アントゥルシャ・カトル、アントゥルシャ・ロワイヤル、シャンジュマン、エシャペ |
| Ⅴ | グランアレグロ3/4（1分10秒）：トン・ドゥ・フレッシュ、ピケ・アラベスク、カブリオール、バランセ・アン・トゥルーナン、グラン・ジュテ |

セクションでは最大心拍数の94％ほどになる（12）。また大学レベルのダンサーは、職業ダンサーの$\dot{V}O_2max$よりも大きいことが報告されている（67）。担当するバレエの役割ごとに求められるパフォーマンスの内容が異なることを考慮すると、自分が行なっているバレエ動作のテンポや内容に着目し、有酸素運動能力を調整していく必要があるといえる。

| 表3　ダンサーとスポーツ選手の最大酸素摂取量（62より要約） | | |
|---|---|---|
| | 男性（ml/kg/min） | 女性（ml/kg/min） |
| ダンス・バレエ | 48～60 | 42～50 |
| 長距離走 | 77 | |
| トライアスロン | 75 | |
| ボート | 70 | |
| 中距離走 | 69 | |
| スカッシュ | 62 | |
| サッカー | 57 | |
| 器械体操 | 55 | |

### *2.3 柔軟性*

クラシックバレエの作品におけるダンサーの体肢運動は、遊脚を体幹の前方、側方、後方に伸ばした姿勢や体幹の伸展などにおいて、時代とともに鉛直上方向に引き上げられたスタイルへと変化している（14）。関節可動域の限界で体肢の位置が保持されても、傷害に繋がらないよう柔軟性と筋力が必要である。一般的に、柔軟性は全身関節弛緩性として表され、弛緩性が強い者は筋力が小さいと考えられている。

全身関節弛緩性は、Beighton

Hypermobility Scoreや東大式全身関節弛緩性テストなどで評価される。思春期ダンサーおよび非ダンサー(アスリート)約100名を調べた研究では、Beighton Hypermobility Score 4/9以上の者はバレエダンサーに圧倒的に多かった(51)。しかし全身弛緩性が高い者で危惧されるような運動機能に関しては、バレエダンサーにおいて関節弛緩性が大きい群と小さい群とではバランス保持時間に有意な違いはみられない(39)。またターンアウト時の股関節および下腿外旋角度にも有意な相関はみられない(46)。関節弛緩性と思春期バレエダンサーに多くみられる脊柱側弯症の有病率は統計学的に有意な関係はみられず(36)、膝伸展筋力も関節弛緩性の大小による違いはみられなかった(55)。全身関節弛緩性のテストでは、バレエダンサーは過可動性と評価されやすく、非ダンサーのアスリートとバレエダンサーを比較すると発揮筋力が小さく評価されがちである(50)。しかしバレエダンサーの中で可動性の大小に分けて比較すると、筋力差はみられない。過可動性があるものは、コラーゲン組織が変性し、脆弱な弾性線維が増加して筋線維を介した力の伝達が非効率的になる。そのため関節の過可動性が大きいものは、筋力、体性感覚、傷害のリスクなどに問題が出やすい(55)。筋柔軟性と関節可動性には骨表面と関節軟骨、線維性結合組織、筋脂肪含有量などの要因が関与するが、最も関与するのは遺伝的要因である(25)。審美性を追求するバレエの思考によって、過可動性の大きい者がダンサーとして残りやすいとも考えられる。バレエトレーニングによって、バレエ動作に必要な筋力が発揮できるよう適応していくと考えられる。また、求められるバレエ動作に対してその適応が十分でないために、バレエダンサーの下肢の受傷率が高いという可能性が考えられる。

## 3. パフォーマンスと体力

### *3.1 ターンアウトに必要な体力*

クラシックバレエの動作は、常にターンアウトし、前足部を床に接地させるつま先立ちやトウシューズという先が固い素材でできた専用シューズを履いて、つま先のみ接地させるつま先立ち、ジャンプや回転動作をステップで組み合わせることで、ひとまとまりの動きが構成される。なかでもターンアウトは、股関節から下肢全体を外旋させるクラシックバレエの基本として、他のスポーツには見られない技術であるといえる。観客に顔を向けたまま舞台上を移動できるという舞台芸術上の利点や、つま先まで外側に向くことで下肢全体が長く見えるなどの審美的利点から行なわれるようになったとされる(6)。そのため、ターンアウトではつま先が身体の正中線から90°真横に向いた状態が理想である。骨盤の寛骨臼の中で大腿骨骨頭を外旋させることに加え、脛骨の回旋や足関節外転および足回内を利用することで、両つま先間の角度(以後、ターンアウト角度とする)をできるだけ広げるように行なう(8,46)。ターンアウト角度に対し股関節外旋の貢献が60～70%となることが理想的であるとされているが(24)、実際には股関節外旋の貢献が29～43%、下腿の外旋が21～41%、それ以外で29～45%あったという報告もある(46)。ターンアウトに影響する要因として、大腿骨頭を取り囲む股関節内外旋筋群の筋力および柔軟性、脛骨捻転の程度、関節包や靭帯の柔軟性といった複数が関与すると考えられている(2,10,22)。しかし股関節外旋以外の要因の貢献を大きくしてターンアウトしようとすると、靭帯や腱における傷害リスクが高まる。

ターンアウト角度の測定は、ダンサーのバレエ学校入学審査やタレント発掘の目的で利用されている。しかし様々なコンディションで測定することにより、傷害予防やテクニックの改善にも利用できる。最も簡便な測定方法では、両かかとを離さずにつま先を広げた足の配置を、床と足との摩擦を利用して強制的に行なうか(強制ターンアウト)、自分の動ける範囲で行なう(機能的ターンアウト)(21)。仰向けでターンアウト角度を測定する方法では、下腿以下の外旋による影響を取り除いた状態で計測できる。仰向けになった状態でのターンアウト角度はプロダンサーで約103°、非ダンサーで約85°であり有意な差があるが、機能的ターンアウトを行なうと、プロダンサーで約107°、非ダンサーで約92°であり有意な差であるとはいえない(56)。このことから、バレエによるトレーニングを行なわない場合は、接地状態でのターンアウト時に股関節の外旋運動を選択的に行なうことが難しいと推測できる。

安全にターンアウトを行なうために、股関節外旋筋群を意識したトレーニングが必要となる。股関節外旋筋群は、表層のものでは大殿筋、小殿筋と中殿筋の後方線維、および縫工筋、大殿筋の深層にある下双子筋、上双子筋、内閉鎖筋、外閉鎖筋、大腿方形筋、梨状筋である(11,20)。0～40°外旋位における免荷状態での股関節外旋筋トルクは、ダンサーは非ダンサーと比べ有意に大きい(23)。立位のターンアウトに必要な筋力の評価法として、両かかとを離さずに両膝を曲げて股関節の外旋を行ない、大腿間に巻き付けたベルトに及ぼす張力を測る方法が提案されている(32,56)。ターンアウトの筋力はプロダンサーで2.44±0.44 N/kg、非ダンサーで1.72±0.59 N/kgであり、この差はバレエによるトレーニング効果であると考えられる(56)。しかし、梨状筋、双子筋、大腿方形筋の筋断面積は、テニスやバスケットなど体幹回転動作やジャンプが含まれるアスリートより大きいとはいえない(16)。外閉鎖筋の筋断面積

は、ネットボールスポーツのアスリートよりダンサーのほうが大きい(40)。股関節外旋位での外閉鎖筋のモーメントアームは短く、ターンアウトでの力発揮が筋肥大を促す刺激となる一方で、それ以外の筋ではモーメントアームが長く、筋肥大にいたる力発揮とはならない可能性がある(16)。各ダンサーのターンアウトにおける下肢セグメントの貢献なども考慮しながら、注意深く調べる必要があるといえる。

核磁気共鳴画像で股関節周りの形態を調べると、大腿骨頭頸部接合部の上方位置でのα角度、大腿骨頸部-シャフト角度、寛骨臼バージョン角度などで、ダンサーは他のアスリートとは異なる形態であることが報告されている(41)。大腿骨に対する骨頭の後捻もダンサーのほうが非ダンサーよりも大きい(56)。これらのことから、ダンサーの下肢の骨格は、先天的な骨格としてターンアウト角度を大きくしやすい形態であることがうかがえる。しかし、機能的ターンアウト角度に最も貢献する要素はダンサー、非ダンサーを含めて、骨格ではなく仰向け時のターンアウト角度であり、ターンアウトのための筋力との相関は、非ダンサーにおいては有意な正の相関があるものの、プロダンサーではみられない(56)。これらのことを総合すると、ダンサーは、機能的ターンアウト時には(実際にはバレエ動作時に近い)、ほぼ股関節外旋の柔軟性の恩恵を受けてターンアウト角度を大きくしていると推測される。ターンアウトは、ジャンプや回転動作などの予備動作として下肢を屈曲した姿勢でも維持される。股関節屈曲に伴い、股関節内旋・外旋トルクのモーメントアームは増加および減少することから(15)、バレエトレーニングによって下肢屈曲位でターンアウトを保つための筋力発揮が大きくなると推測される。

ターンアウト時の下肢において、股関節外旋の貢献を優先することが理想的であるが、下腿の外旋や足関節外転および足回内も行なわれていることは事実である(8,9,46)。強制的および機能的ターンアウト時の下腿の受動的外旋角度と足関節外転角度には負の相関があることから(9)、ターンアウト角度を大きくするために下腿と足は相補的に回旋することが考えられる**(表4)**。接地状態でのターンアウト時はこれらのセグメントに大きな回旋トルクが作用することから、どちらかのセグメントに極端な負荷がかからないようトレーニングをする必要がある。

### *3.2 つま先立ちに必要な体力*

クラシックバレエにおける特徴的な下肢の使い方のひとつとして、つま先立ち動作がある。足趾を接地させた状態(伸展位)で足関節底屈を行なうつま先立ちをドゥミポワント**(図3A)**、トウシューズを履き足趾を伸ばした状態(屈曲位)で足関節底屈を行なうつま先立ちをポワント**(図3B)**と呼ぶ。バレエ初心者はまずドゥミポワントでの足関節底屈角度を広げバランスを保持できるようにトレーニングする。トウシューズの着用に問題がないと判断さ

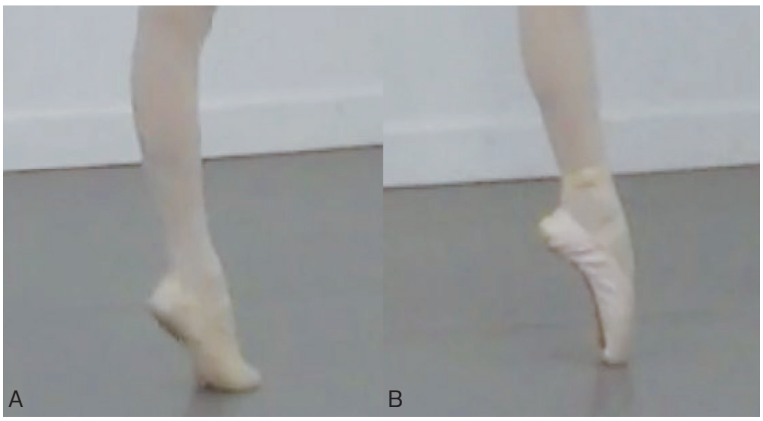



図3　クラシックバレエにおけるつま先立ち動作
(A)ドゥミポワント(足趾伸展および足関節底屈)、(B)ポワント(足趾屈曲および足関節底屈)

表4　ターンアウト時の股関節外旋・下腿外旋・足外転角度(9,20,46)

| | 股関節外旋 | 下腿外旋 | 足外転 | 正中線と足との角度 | サンプル | 測定方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gorwaら(20) | 25.8±3.8～30.3±4.0 | 18.0±3.8～23.3±7.4 | – | 57.4±3.6～58.2±4.0 | セミプロ女性クラシックダンサー14名、11～16歳 | 自分の好みのターンアウト1番ポジション(床上に裸足) |
| Carterら(9) | 20.5～26.8 | 13.2～16.4 | 25.4～32.1 | 64.7～70.7 | 大学生女性クラシックバレエダンサー17名、モダンダンサー5名、19±1.8歳 | 自分の好みのターンアウト1番ポジション(床上に裸足) |
| Quanbeckら(46) | 42.7～55.3 | 18.0～22.0(右)<br>18.8～23.2(左) | – | 124.0～146.0 | プロ女性クラシックバレエダンサー10名、19～23歳 | 自分の好みのターンアウト1番ポジション(床上に裸足) |

れれば、1回につき30分程度からのトウシューズを履いたトレーニングが始められる。5～6歳からバレエを始めた場合、おおよそ12歳ごろにはトウシューズを履き始める(1,31,52)。

トウシューズを着用し始めるための明確な体力的指標は定められていないが、関節可動域(股関節外旋角度、足関節底背屈角度、中足趾関節伸展角度等)、筋力および筋持久力(長母指屈筋、体幹筋力、足関節底屈筋群)、Airplane test(片脚を後方に挙上して支持脚の屈曲を4～5回繰り返す間バランスを保持する)、Saute test(両脚で踏切り、前にジャンプする。空中では対側の脚が伸展したまま90°挙上される)、Topple test(片脚支持での回転中に体幹を真っ直ぐに保つ)、バランス(Star Excursion Balance Test)、可動性(Beighton scale)などから判断される**(表5)**(1,31,52,53)。クラシックバレエダンサーの足関節底屈角度は約100～113°(24,65)、中足趾伸展角度は約101°(48)である。また足関節底屈トルクは0.33 BW(24)、足趾伸展等尺性筋力は0.16 BW(48)という報告がある。クラシックバレエダンサーの各関節トルクの数値は、Hamiltonら(24)やTwittchettら(62)の文献を参照するとほぼ等尺性に近い30°/s、他のアスリートとも比較が容易な60°/sでの下肢関節トルクの値を知ることができる。こうした数値は実験的に検証する際には有用であるが、指導の現場では用いられにくい。トウシューズ着用でのポワント開始の信頼できる指標としてAirplane testで後方に脚を挙上した姿勢を崩さずに4～5回片脚スクワットができること、Saute testで16回中8回のジャンプで体幹や下肢の姿勢を崩さずに行なえること、Topple Testでは片脚つま先立ちで姿勢を崩さずバランスをとり回転し、支持脚のかかとを下ろして回転を終了できることなどがある(47,53)。

表5　トウシューズ着用判断のチェックリスト(53)

| 経歴 | 回答 | |
|---|---|---|
| スタジオ名と指導者名 | | |
| 現在の年齢 | | |
| バレエ開始時の年齢 | | |
| バレエ歴 | | |
| 1週間あたりのバレエレッスン時間 | | |
| バレエ以外のダンスレッスンと1週間あたりのレッスン時間 | | |
| その他のエクササイズと1週間あたりのエクササイズ時間 | | |
| バレエに取り組む目的(プロ志望 or レクリエーションなど) | | |
| ダンス中の課題(ターンアウトやバランスが苦手など) | | |
| 指導者からのアドバイス | | |
| 過去の傷病歴 | | |
| 現在発症中の傷病 | | |
| カルシウム摂取量 | | |
| ビタミンD摂取量と日光に当たる時間 | | |
| 身体検査 | 右 | 左 |
| 脚長(上前腸骨棘から下腿内顆までの距離) | | |
| うつ伏せでの親指と足部の底屈 | | |
| 親指の背屈角度 | | |
| うつ伏せでの股関節外旋角度 | | |
| うつ伏せでの股関節内旋角度 | | |
| 仰向けでの股関節外旋角度 | | |
| 仰向けでの股関節内旋角度 | | |
| 股関節外旋強度 | | |
| 股関節外転強度(腸脛靭帯と中殿筋) | | |
| 股関節内旋強度(脚を上げた状態と下げた状態) | | |
| 足関節底屈強度(25回片脚つま先立ちのうち何回できたか) | | |
| 足関節背屈強度 | | |
| 足関節内反強度 | | |
| 足関節外反強度 | | |
| ターンアウトの第1ポジション(機能的ターンアウト) | | |
| 強制的ターンアウト(第1ポジション)との差分 | | |
| ターンアウトの第2ポジション(機能的ターンアウトからの修正具合) | | |
| ターンアウトの第5ポジション(機能的ターンアウトからの修正具合) | | |
| ルルベ1番(配置とバランス)、5秒間保持 | | |
| ルルベ2番(配置とバランス)、5秒間保持 | | |
| ルルベ5番(配置とバランス)、5秒間保持 | | |
| 各脚でルルベパッセ(姿勢のコントロール)、5秒間保持 | | |
| ランジ(膝を外反、内反もしくは自然状態) | | |
| グランプリエ(第1、第2、第5ポジション) | | |
| 各脚で第4ポジションからシングルピルエット(Topple test) | | |
| Air plane test | | |
| Saute test | | |

### 3.3 ジャンプに必要な体力

ジャンプはバレエ動作の中でもいわゆる“技“としてダンサーの技術が発揮されるダイナミックな運動である。スポーツやフィットネスの場面では垂直跳びに代表されるように、跳躍高や飛距離をいかに高めるかということに重点が置かれる。バレエでは審美的観点から反重力性の体現として幻想的な印象を与えつつ、跳躍高を高めることが求められる。ジャンプの前後には並進移動やその場で回転動作やポーズを取る。そのためジャンプひとつとしての動きの評価ではなく、動きの流れの中でいかに審美的な印象を与えられるかということが重要となる。

バレエのジャンプは両脚踏切-両脚着地、両脚踏切-片脚着地、片脚踏切-片脚着地というすべてのパターンでのバリエーションがある。これらのすべてにおいて下肢を屈曲した状態(プリエ)での準備動作から跳躍し、プリエを通して着地という形をとる。一般的な垂直跳びでも下肢全体を屈伸するが、跳躍高を高めるために股関節の屈伸による仕事を主に利用する(7)。つまり、ジャンプ時の股関節屈伸トルクによる前後動に対しバランスをとるために体幹の前後動が起きる(63)。バレエでは、審美的観点から体幹の前後動が少ないほうが好まれるため、股関節屈曲・伸展の仕事を大きくすることはできない。ターンアウトによって股関節の外旋を行なうと膝が外に向くため、股関節屈伸による体幹の前後動への影響を少なくして全身を上昇させることができる(27)。しかし股関節外旋を90°、すなわち膝が完全に外を向く状態のターンアウトを行なうことは困難であるため、現実的には股関節内外転筋群による筋力発揮も利用しながら、下肢の屈曲・伸展を行なっている(27)。

バレエダンサーのジャンプでは、着地時における下肢の運動が他のアスリートと異なることで知られている(33,44,59)。非ダンサーと比べ、ダンサーは着地時に膝外反が小さいことや(59)、下肢各関節の屈曲のタイミングを遅くすることで衝撃を和らげている(38)。ダンサーは、ターンアウトにおいて下腿に対し、足は大きく外転・回外させない、つま先から足全体を分節的に動かして接地させ下肢屈曲を大きくするなどの調整を行なっているためである。ジャンプでは大きなパワー(短縮速度×トルク)も必要だが、クラシックバレエダンサーのジャンプにおいてパワーの出力を左右する要素は、速度であることが多い(18)。さらに、プロバレエダンサーを調べた研究では、ダンサーの役職による違いをみてみると、ソリスト、ファーストアーティスト、コールドバレエの順に跳躍高が高く、発揮パワーが大きく、初速度が大きい(18)。ジャンプにおける力-速度関係は、スマホのアプリでも簡単に計測できるため、力が大きいタイプなのか速度が大きいタイプなのかを知ることができ、レジスタンストレーニングまたはパワートレーニングのどちらを取り入れるべきかを検討する際の手がかりになる。

ジャンプの様式には、下肢屈曲位から行なうスクワットジャンプ(SJ)と、下肢の素早い屈曲動作の後に行なうカウンタームーブメントジャンプ(CMJ)がある。SJは、ハムストリングスの短縮性収縮力、CMJは大腿四頭筋の伸張性収縮から短縮性収縮への変遷(ストレッチ-ショートニングサイクル：SSC)を反映すると考えられている。バレエダンサー群はレジスタンストレーニング群と比べ、SJ/CMJが大きい(35)。この理由として、バレエのジャンプではSSCが長いため、SJとの差が生じなかったことが考えられる(35)。思春期のバレエダンサーおよびバスケットボール選手において、大腿四頭筋群、ハムストリングス、足関節底屈および足関節背屈について短縮性および伸縮性収縮の様式での等速性トルクを調べた研究では、これらの筋トルクのピーク値に群間差はみられなかった(28)。これらの値は女性体操選手とも同等である(26)。以上の先行研究からまとめて考えると、バレエのジャンプにおいて大きなパワーを発揮させる筋のひとつはハムストリングスであり、ハムストリングスの短縮速度を大きくするようなトレーニングが有効であると推測される。

## 4. ダンサーに取り入れられているトレーニングとその効果

クラシックバレエのトレーニングでは、前半はバーワークを、後半はフロアワークを行なう。バーワークやフロアワークの内容は、流派によって異なり、また指導者の裁量によるところが大きい。こうしたバレエ専用のトレーニングに合わせて、可動域を広げるためのコンディショニング(ストレッチング)や有酸素トレーニング、レジスタンストレーニング、ファンクショナルトレーニングは、パフォーマンスの向上や傷害予防に役立つ。

可動域を広げるトレーニングとして、マイクロストレッチング(低強度ストレッチング)は中強度の静的ストレッチングよりも股関節屈曲における能動的可動域を広げる効果があると報告されている(66)。14～16歳のダンス学習者に、片脚支持で対側の脚を顔の横に持ち上げる動作(デベロッペ)において手で脚を補助しながら挙上した場合(受動的可動域)と、手を放して挙上した場合(能動的可動域)の股関節屈曲角度におけるストレッチングの効果を検討した研究がある。ダンスクラス後に最大限に痛みを感じるストレッチングの10～30%程度の強度で1分間保持するストレッチングを3回6週間行なうマイクロストレッチング群では、80%程度の強度で同様に行なう中強度ストレッチング群と比べて、能

動的な股関節屈曲角度は約10度有意に増加する(66)。マイクロストレッチングでは、筋紡錘やゴルジ腱複合体や交感神経を抑制し、筋の伸長に伴う抑制を抑える働きがあると考えられている。ストレッチングの急性効果として、痛みに強くなる可動域の範囲を広げることが挙げられる。

可動域を広げるという点において、ダンサーについては、PNF(固有受容神経促通法)と静的ストレッチングの違いはみられないようである。成人女性クラシックバレエダンサー45名を対象に、股関節内転筋群の静的ストレッチング(股関節最大外転位を30秒間保持×4セット、30秒インターバル)とPNFストレッチング(股関節最大外転位を10秒間保持-股関節最大外転位で内転筋力発揮10秒間-股関節最大外転位を10秒間保持)×4セット、30秒インターバル)を行なった研究では、介入2日後の股関節外転角度において両群間の有意な差はみられなかった(49)。

静的ストレッチング(30秒保持)とバリスティックストレッチング(反動をつけて行なうストレッチング)では、どちらもハムストリングス/大腿四頭筋の筋力比を低下させる(35)。このため、パフォーマンス前に行なうと急性効果として下肢のケガに繋がる危険性があるとされている(35)。ハムストリングスの静的ストレッチングの急性効果として一般人もダンサーも可動域が大きくなり、受動抵抗が小さくなることは同じであるが、ダンサーのほうが可動域の広がりも受動抵抗トルクの値も変化が大きい(45)。日頃から柔軟性トレーニングを続けている人のほうが、ストレッチングによる筋腱複合体(主働筋、協働筋、腱、腱膜等)の応答が顕著に表れることを示している。

有酸素運動によるウォームアップ、静的ストレッチングと動的ストレッチング、およびそれらの複合ストレッチングの急性効果を検討した研究では、ストレッチングを適切な順番で行なうことの重要性が示唆された(43)。大腿四頭筋、ハムストリングス、大殿筋、腓腹筋などの下肢の筋について、静的(SS)および動的ストレッチング(DS)ではそれぞれの筋につき30秒のストレッチングを2セット、複合ストレッチング(CS)では30秒の静的ストレッチング後+30秒の動的ストレッチング、およびコントロールとしての安静(NS)、の4種で検討した(43)。SSのみでは跳躍高やつま先立ちバランスに、DSのみではハムストリングスの可動域やバランスに効果が望めないようである(43)。CSは、ハムストリングスの可動域、跳躍高、バランスにおいてSSと比較して改善した。これらのことから、ダンスの前に行なうウォーミングアップとして有酸素運動-短時間の静的ストレッチング-短時間の動的ストレッチングの順で行なうことが推奨されている(43)。

ダンサーのサプリメンタルトレーニングとして、パフォーマンスや傷害予防、さらに外見的な審美性のために有酸素運動やレジスタンストレーニング、筋持久力トレーニングを取り入れることも重要である。有酸素運動20分とサーキットトレーニングを毎週1時間ずつ10週間行なうと、バレエパフォーマンスは明らかに向上する(60)。また、サーキットトレーニング(10種、1周6分50秒)を4周、6種の振動トレーニング(1ポーズ40秒)で計1時間となるトレーニングプログラムを毎週2時間、6週間行なった研究では、腕立て回数、SJ高、有酸素運動能力、ダンスパフォーマンスすべてにおいて向上した(3)。90分のトレーニングを半年間続けた研究では、有酸素運動パワーや皮下脂肪厚・ウェスト/ヒップ比などは向上していたが、参加者の10%がケガや病気によるダンスの中断を余儀なくされた(42)。これらの先行研究では、トレーニング開始当初Borg Scale 12 ~ 18などに設定されており、ダンストレーニングに加えて取り入れる際にはオーバートレーニングにならないよう疲労度などを客観的に表せるようにして注意を払う必要がある。

ジャンプパフォーマンス改善のためのトレーニングでは、ダンスレッスンにおけるバーワークとフロアワークの分量を変更したり(58)、ジャンプ時のパワー分析によって発揮筋力が大きいタイプであるか筋短縮速度が速いタイプであるかを見極めてトレーニングする試みがある(17)。18歳の熟練女性バレエダンサーを対象に、1つのダンスレッスンにおいて、バーワークの時間を20分減らし、フロアワークを20分増やすレッスンを週2回、8週間行なったところ、SJや跳躍速度は約7%増加し、膝屈曲トルクが増大して膝屈伸トルク比が60%と最適なバランスとなった(58)。19歳女性プロバレエダンサーを対象に、スマートフォンアプリ(My Jump 2)を使用して垂直跳びの力-速度関係を類推し、筋力優位群にはデッドリフト、SJ、バックスクワット、CMJ、シングルレッグCMJ、筋短縮速度優位群にはレッグプレス、SJ、バックスクワット、CMJ、シングルレッグCMJ、シングルレッグSJなどのメニューを9週間行なうと、CMJ跳躍高、筋力、短縮速度が増加し筋力-速度バランスが20%改善した(17)。これらの研究結果は、トレーニングの目的が傷害予防なのかパフォーマンス改善なのかを明確にし、限られた時間と体力の中で効果的なメニューを実践する必要性を示唆している。

## 5. おわりに

本稿では、クラシックバレエダンサーのトレーニングを行なう上での基礎的知識として、ダンサーの体力特性について比較的新しい文献を中心に知

見を紹介してきた。ダンサーは年々ダイナミックになっていくパフォーマンスに耐えうる筋と、形態的審美性との両立が必要である。バレエレッスンに加えて有酸素運動を週1回程度取り入れることは、傷害予防や体格の維持に有益である。またプロバレエダンサーは、全身弛緩性が高い者が多く、他のスポーツ選手に比べると発揮筋力が小さいと評価される傾向にある。全身弛緩性が高い者は遺伝的に遅筋線維の割合が多いとされることから、筆者は単にトレーニングが足りないために筋力が小さいのではなく、求められる動作様式に合ったトレーニングが必要なのだと考える。バレエ動作には、下肢の挙上やジャンプのように筋力やパワーを必要とするものもあり、大きな力発揮ではなく素早い短縮速度のほうが必要とされる。これはジャンプやつま先立ちからの着地で、予期せずバランスを崩した時のリカバリーにも必要とされる能力である。ハムストリングスや足関節周りの筋群の短縮性収縮速度を大きくするなどの対応が必要となる。関節可動域は先に述べたように先天的要因に影響されやすいが、筋温や神経系を調整することで伸長に対する筋の反応を変化させ、可動域を増大させることができる。現代のクラシックバレエを源流とするダンスフィットネスは、伝承的な指導だけでなく個人に見合った補助的トレーニングを利用することでさらにQOLが向上すると考える。◆

**謝辞**

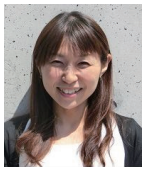
バレエダンサー Miyagi Y氏に本稿の撮影協力をいただきました。ここに感謝いたします。

## 参考文献

1. Altmann, C., Roberts, J., Scharfbillig, R., Jones, S. Readiness for En Pointe Work in Young Ballet Dancers Are There Proven Screening Tools and Training Protocols for a Population at Increased Risk of Injury? *J Dance Med Sci* 23: 40–45. 2019.
2. Angioi, M., Hodgson, K., Okholm Kryger, K. An Updated Systematic Review of Turnout Position Assessment Protocols Used in Dance Medicine and Science Research. *J Dance Med Sci* 25: 55–71. 2021.
3. Angioi, M., Metsios, G., Twitchett, E.A., Koutedakis, Y., Wyon, M. Effects of supplemental training on fitness and aesthetic competence parameters in contemporary dance: a randomised controlled trial. *Med Probl Perform Art* 27: 3–8. 2012.
4. Beck, S., Redding, E., Wyon, M.A. Methodological considerations for documenting the energy demand of dance activity: a review. *Front Psychol* 6: 568. 2015.
5. Benson, J.E., Geiger, C.J., Eiserman, P.A., Wardlaw, G.M. Relationship between nutrient intake, body mass index, menstrual function, and ballet injury. *J Am Diet Assoc* 89: 58–63. 1989.
6. Bessho, S. バレエ技法ターンアウトについて. *神戸女子短期大学論攷* 48: 53–60. 2003.
7. Bobbert, M.F., Van Zandwijk, J.P. Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 31: 303–310. 1999.
8. Carter, S.L., Bryant, A.R., Hopper, L.S. Lower-Leg and Foot Contributions to Turnout in University-Level Female Ballet Dancers A Preliminary Investigation. *J Am Podiatr Med Assoc* 107: 292–298. 2017.
9. Carter, S.L., Duncan, R., Weidemann, A.L., Hopper, L.S. Lower leg and foot contributions to turnout in female pre-professional dancers: A 3D kinematic analysis. *J Sports Sci* 36: 2217–2225. 2018.
10. Champion, L.M., Chatfield, S.J. Measurement of turnout in dance research: a critical review. *J Dance Med Sci* 12: 121–135. 2008.
11. Clippinger, K.S. *Dance anatomy and kinesiology*. Champaign, IL: Human kinetics. 2007.
12. Cohen, J.L., Segal, K.R., Witriol, I., McArdle, W.D. Cardiorespiratory responses to ballet exercise and the VO2max of elite ballet dancers. *Med Sci Sports Exerc* 14: 212–217. 1982.
13. Dang, Y., Chen, R., Koutedakis, Y., Wyon, M.A. The efficacy of physical fitness training on dance injury: A systematic review. *Int J Sports Med* 44: 108–116. 2023.
14. Daprati, E., Iosa, M., Haggard, P. A dance to the music of time: aesthetically-relevant changes in body posture in performing art. *PLoS One* 4: e5023. 2009.
15. Delp, S.L., Hess, W.E., Hungerford, D.S., Jones, L.C. Variation of rotation moment arms with hip flexion. *J Biomech* 32: 493–501. 1999.
16. Emery, S., Cook, J., Ferrar, K., Mayes, S. Deep hip external rotator muscle size in ballet dancers compared to non-dancing athletes, and associations to pain. *Phys Ther Sport* 51: 58–64. 2021.
17. Escobar Álvarez, J.A., Fuentes García, J.P., Da Conceição, F.A., Jiménez-Reyes, P. Individualized training based on force-velocity profiling during jumping in ballet dancers. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 788–794. 2019.
18. Escobar Álvarez, J.A., Reyes, P.J., Pérez Sousa, M.Á., Conceição, F., Fuentes García, J.P. Analysis of the Force-Velocity Profile in Female Ballet Dancers. *J Dance Med Sci* 24: 59–65. 2020.
19. Evans, R.W., Evans, R.I., Carvajal, S. Survey of injuries among West End performers. *Occup Environ Med* 55: 585–593. 1998.
20. Gorwa, J., Kabaciński, J., Murawa, M., Fryzowicz, A. On the track of the ideal turnout: Electromyographic and kinematic analysis of the five classical ballet positions. *PLoS One* 15: e0230654. 2020.
21. Greene, A., Lasner, A., Deu, R., Oliphant, S., Johnson, K. Inter-rater and intra-rater reliability of a clinical protocol for measuring turnout in collegiate dancers. *Physiother Theory Pract* 35: 94–99. 2018.
22. Grossman, G., Waninger, K.N., Voloshin, A., Reinus, W.R., Ross, R., Stoltzfus, J., Bibalo, K. Reliability and validity of goniometric turnout measurements compared with MRI and retro-reflective markers. *J Dance Med Sci* 12: 142–152. 2008.
23. Gupta, A., Fernihough, B., Bailey, G., Bombeck, P., Clarke, A., Hopper, D. An evaluation of differences in hip external rotation strength and range of motion between female dancers and non-dancers. *Br J Sports Med* 38: 778–783. 2004.
24. Hamilton, W.G., Hamilton, L.H., Marshall, P., Molnar, M. A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *Am J Sports Med* 20: 267–273. 1992.
25. Holland, G.J. The physiology of flexibility: a review of the literature. *Kinesthesiol Rev* 1: 49–62. 1968.
26. Housh, T.J., Johnson, G.O., Housh, D.J., Weir, J.P., Weir, L.L., Eckerson, J.M., Stout, J.R. Age, fat-free weight, and isokinetic peak torque in high school female gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 28: 610–613. 1996.
27. Imura, A., Iino, Y. Comparison of lower limb kinetics during vertical jumps in turnout and neutral foot positions by classical ballet dancers. *Sports Biomech* 16: 87–101. 2017.
28. Kenne, E., Unnithan, V.B. Knee and ankle strength and lower extremity power in adolescent female ballet dancers. *J Dance Med Sci* 12: 59–65. 2008.
29. Koutedakis, Y., Jamurtas, A. The dancer as a performing athlete: physiological considerations. *Sports Med* 34: 651–661. 2004.
30. Kuno, M., Fukunaga, T., Hirano, Y., Miyashita, M. Anthropometric variables and muscle properties of Japanese female ballet dancers. *Int J Sports Med* 17: 100–105. 1996.
31. Lai, J.C., Kruse, D.W. Assessing readiness for en pointe in young ballet dancers. *Pediatr Ann* 45: e21–5. 2016.
32. Lee, S-P., Powers, C. Description of a weight-bearing method to assess hip abductor and external rotator muscle performance. *J Orthop Sports Phys Ther* 43: 392–397. 2013.

33. Liederbach, M., Kremenic, I.J., Orishimo, K.F., Pappas, E., Hagins, M. Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 2: Influence of fatigue and implications for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 42: 1089–1095. 2014.
34. Liiv, H., Wyon, M.A., Jürimäe, T., Saar, M., Mäestu, J., Jürimäe, J. Anthropometry, somatotypes, and aerobic power in ballet, contemporary dance, and dancesport. *Med Probl Perform Art* 28: 207–211. 2013.
35. Lima, C.D., Brown, L.E., Ruas, C.V., Behm, D.G. Effects of Static Versus Ballistic Stretching on Hamstring: Quadriceps Strength Ratio and Jump Performance in Ballet Dancers and Resistance Trained Women. *J Dance Med Sci* 22: 160–167. 2018.
36. Longworth, B., Fary, R., Hopper, D. Prevalence and predictors of adolescent idiopathic scoliosis in adolescent ballet dancers. *Arch Phys Med Rehabil* 95: 1725–1730. 2014.
37. Luke, A.C., Kinney, S.A., D'Hemecourt, P. A., Baum, J., Owen, M., Micheli, L.J. Determinants of injuries in young dancers. *Med Probl Perform Art* 17: 105–112. 2002.
38. McNitt-Gray, J.L., Koff, S.R., Hall, B.L. The influence of dance training and foot position on landing mechanics, *Med Probl Perform Art* 7: 87–91, 1992.
39. Marulli, T.A., Harmon-Matthews, L.E., Davis-Coen, J.H., Willigenburg, N.W., Hewett, T.E. Eyes-Closed Single-Limb Balance is Not Related to Hypermobility Status in Dancers. *J Dance Med Sci* 21: 70–75. 2017.
40. Mayes, S., Ferris, A-R., Smith, P., Cook, J. Obturator externus was larger, while obturator internus size was similar in ballet dancers compared to nondancing athletes. *Phys Ther Sport* 33: 1–6. 2018.
41. Mayes, S., Ferris, A-R., Smith, P., Garnham, A., Cook, J. Bony morphology of the hip in professional ballet dancers compared to athletes. *Eur Radiol* 27: 3042–3049. 2017.
42. Mistiaen, W., Roussel, N.A., Vissers, D., Daenen, L., Truijen, S., Nijs, J. Effects of aerobic endurance, muscle strength, and motor control exercise on physical fitness and musculoskeletal injury rate in preprofessional dancers: an uncontrolled trial. *J Manipulative Physiol Ther* 35: 381–389. 2012.
43. Morrin, N., Redding, E. Acute effects of warm-up stretch protocols on balance, vertical jump height, and range of motion in dancers. *J Dance Med Sci* 17: 34–40. 2013.
44. Orishimo, K.F., Liederbach, M., Kremenic, I.J., Hagins, M., Pappas, E. Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 42: 1082–1088. 2014.
45. Pessali-Marques, B., Peixoto, G.H.C., Cabido, C.E.T., Andrade, A.G.P., Rodrigues, S.A., Tourino, F.D., O'Dowd, D., Chagas, M.H. Biomechanical response to acute stretching in dancers and non-dancers. *J Dance Med Sci* 24: 12–18. 2020.
46. Quanbeck, A.E., Russell, J.A., Handley, S.C., Quanbeck, D.S. Kinematic analysis of hip and knee rotation and other contributors to ballet turnout. *J Sports Sci* 35: 331–338. 2016.
47. Richardson, M., Liederbach, M., Sandow, E. Functional criteria for assessing pointe-readiness. *J Dance Med Sci* 14: 82–88. 2010.
48. Rowley, K.M., Jarvis, D.N., Kurihara, T., Chang, Y-J., Fietzer, A.L., Kulig, K. Toe flexor strength, flexibility and function and flexor hallucis longus tendon morphology in dancers and non-dancers. *Med Probl Perform Art* 30: 152–156. 2015.
49. Rubini, E.C., Souza, A.C., Mello, M.L., Bacurau, R.F.P., Cabral, L.F., Farinatti, P.T.V. Immediate effect of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on hip adductor flexibility in female ballet dancers. *J Dance Med Sci* 15: 177–181. 2011.
50. Scheper, M.C., de Vries, J.E., Juul-Kristensen, B., Nollet, F., Engelbert, R.H.H. The functional consequences of generalized joint hypermobility: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord* 15: 243. 2014.
51. Schmidt, H., Pedersen, T.L., Junge, T., Engelbert, R., Juul-Kristensen, B. Hypermobility in Adolescent Athletes: Pain, Functional Ability, Quality of Life, and Musculoskeletal Injuries. *J Orthop Sports Phys Ther* 47: 792–800. 2017.
52. Shah, S. Determining a young dancer's readiness for dancing on pointe. *Curr Sports Med Rep* 8: 295–299. 2009.
53. Shah, S. Readiness for dancing en pointe. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 32: 87–102. 2020.
54. スポーツ庁健康スポーツ課. *スポーツの実施状況等に関する世論調査*. 2022. https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1415963_00008.htm.（参照日2023年10月13日）.
55. Steinberg, N., Tenenbaum, S., Zeev, A., Pantanowitz, M., Waddington, G., Dar, G., Siev-Ner, I. Generalized joint hypermobility, scoliosis, patellofemoral pain, and physical abilities in young dancers. *BMC Musculoskelet Disord* 22: 161. 2021.
56. Sutton-Traina, K., Smith, J.A., Jarvis, D.N., Lee, S-P., Kulig, K. Exploring active and passive contributors to turnout in dancers and non-dancers. *Med Probl Perform Art* 30: 78–83. 2015.
57. To, W.W., Wong, M.W., Chan, K.M. Association between body composition and menstrual dysfunction in collegiate dance students. *J Obstet Gynaecol Res* 23: 529–535. 1997.
58. Tsanaka, A., Manou, V., Kellis, S. Effects of a modified ballet class on strength and jumping ability in college ballet dancers. *J Dance Med Sci* 21: 97–101. 2017.
59. Turner, C., Crow, S., Crowther, T., Keating, B., Saupan, T., Pyfer, J., Vialpando, K., Lee, S-P. Preventing non-contact ACL injuries in female athletes: What can we learn from dancers? *Phys Ther Sport* 31: 1–8. 2018.
60. Twitchett, E.A., Angioi, M., Koutedakis, Y., Wyon, M. Do increases in selected fitness parameters affect the aesthetic aspects of classical ballet performance? *Med Probl Perform Art* 26: 35–38. 2011.
61. Twitchett, E., Brodrick, A., Nevill, A.M., Koutedakis, Y., Angioi, M., Wyon, M. Does physical fitness affect injury occurrence and time loss due to injury in elite vocational ballet students? *J Dance Med Sci* 14: 26–31. 2010.
62. Twitchett, E.A., Koutedakis, Y., Wyon, M.A. Physiological fitness and professional classical ballet performance: a brief review. *J Strength Cond Res* 23: 2732–2740. 2009.
63. Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., De Clercq, D. Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Hum Mov Sci* 22: 713–727. 2004.
64. Vera, A.M., Barrera, B.D., Peterson, L.E., Yetter, T.R., Dong, D., Delgado, D.A., McCulloch, P. C., Varner, K. E., Harris, J. D. An injury prevention program for professional ballet: A randomized controlled investigation. *Orthop J Sports Med* 8: 2325967120937643. 2020.
65. Wiesler, E.R., Hunter, D.M., Martin, D.F., Curl, W.W., Hoen, H. Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *Am J Sports Med* 24: 754–757. 1996.
66. Wyon, M., Felton, L., Galloway, S. A comparison of two stretching modalities on lower-limb range of motion measurements in recreational dancers. *J Strength Cond Res* 23: 2144–2148. 2009.
67. Wyon, M., Head, A., Sharp, C., Redding, E. The cardiorespiratory responses to modern dance classes: differences between university, graduate, and professional classes. *J Dance Med Sci* 6: 41–45. 2002.
68. Wyon, M.A., Deighan, M.A., Nevill, A.M., Doherty, M., Morrison, S.L., Allen, N., Jobson, S.J., George, S. The cardiorespiratory, anthropometric, and performance characteristics of an international/national touring ballet company. *J Strength Cond Res* 21: 389–393. 2007.

## 著者紹介



井村 祥子：
博士（学術）、東京都立大学人間健康科学研究科 ヘルスプロモーションサイエンス学域。専門はスポーツバイオメカニクス。