

平成30年6月22日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16446

研究課題名(和文) ピルエットにおける角運動量の獲得とバランス保持に係る体肢の運動の特徴について

研究課題名(英文) Characteristics of limb motions associated with generating angular momentum and balance maintenance in pirouette ed dehor in classic ballet

研究代表者

井村 祥子 (IMURA, AKIKO)

首都大学東京・人間健康科学研究科・助教

研究者番号：30586699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：バレエの身体長軸周りの回転動作では、バランスの保持と十分な角運動量の生成が必要となる。本研究の目的は、角運動量生成及びバランス保持機構を動力的に明らかにすることである。バレエダンサーによる1から6回転までの片脚支持回転動作を撮影し、左右上肢の運動学的パラメータを求めるとともに逆動力学演算によって各関節トルクを算出した。対象とする系の運動方程式を利用して、上体の重心周りの角運動量に対する関節トルク、重力および運動依存項などの動力的な貢献を算出した。上肢の角運動量は関節トルクの即時的な効果により増大した後、関節トルクの累積的な効果として現れる運動依存項の貢献により増大していた。

研究成果の概要(英文)：In a turn around the longitudinal axis of the body in classical ballet dancing, it is necessary to maintain balance and generate sufficient angular momentum. The purpose of this study is to clarify the dynamics of angular momentum generation and balance maintenance. We captured turns with single leg support by professional ballet dancers from 1 to 6 revolutions, determined the kinematic parameters of the left and right upper limbs, and calculated each joint torque by inverse dynamics calculation. By using the equation of motion of the target system, the kinetic contribution was calculated such as joint torque, gravity and motion dependent terms to the angular momentum around the center of mass of the upper body. The angular momentum of the upper limb increased with the immediate effect of the joint torque and then increased due to the contribution of the motion dependent term which appears as the cumulative effect of the joint torque.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：角運動量 回転動作 動力的貢献

1. 研究開始当初の背景

体幹長軸周りの回転技であるピルエット(図1)は、クラシックバレエの最も基本的な回転動作の一つである。この動作では、回転の勢い(角運動量)を床反力が身体に作用している間に体幹長軸周りで両上肢を動かすことで得る(Imura et al.,2008; 著者の前回科研費の調査(2010-2013))。多くの回転を美しく行うために、身体重心の支持脚に対する位置を回転開始時(図1AからBへの移動)と、回転中(図1B)で適切に保ちバランスを維持する(Laws et al.,2012)。

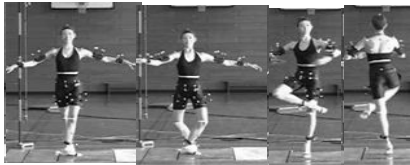


図1 ピルエット
回転中の姿勢で一〜十回転する。Bの姿勢は回転中維持される。

ピルエットの回転中(図1B)は足圧中心位置に対し身体を移動させてバランスをとる(Laws et al.,2012)。この時の支持脚での調節がどの関節で行われているかを調べる必要がある。加えて、角運動量の獲得は、上肢の水平面内の回転によって得られるが、上肢の運動が生み出す水平面内の加速が身体重心に与える影響もまたバランス保持に関係している。

本研究では、ピルエットにおける上肢と下肢の運動の役割について明らかにしたうえで、体幹各軸周りの角運動量の変化と下肢に作用する床反力がどのような体肢の運動により生じるかを検討することで、回転におけるダイナミックバランスのコントロール方法を詳細に検討できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、ピルエットの回転開始時と回転中のバランスにおける体幹各軸周りの角運動量の調節方法を明らかにすることでである。

3. 研究の方法

クラシックバレエの片脚軸での回転動作(ピルエット)のデータを用いて、動力学的解析を行う。全身の運動学データおよび運動力学的データ、身体特性を表すデータを用い、段階的にモデルのセグメント数を増やして、回転に必要な体肢のトルク発揮とバランス保持との関係を明らかにする。モデルのリンク数は、上体を表す8リンクモデルから、全身を表す15リンクでのモデルを検討する。

ロシア人男性バレエダンサー10人について、舞台上で演技するようなベストパフォーマンスでの1~6回転のピルエットのモーションキャプチャーを行い逆動力学法によって各関節の運動や身体重心の位置の変

化を調べる。一定の両足間の距離で立っている時、後脚のキック前までに上肢の回転で得る一定量の角運動量について上体のひねりや肩・肘関節での力発揮、後脚及び支持脚のキック力が角運動量の獲得やバランス保持にどのように貢献しているかを Induced acceleration analysis (IAA) によって調べる。

4. 研究成果

本研究期間では、まず回転動作の必須条件である角運動量の獲得の動力学的解析を行い、上肢運動の特徴について明らかにした。

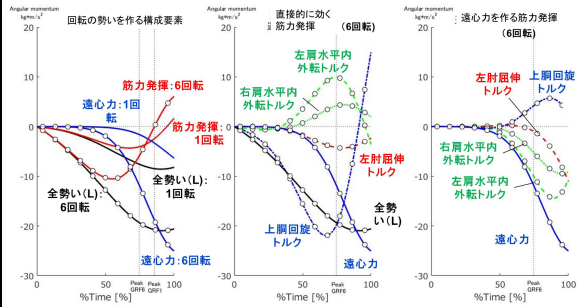


図2 上肢の勢いへの貢献(代表的なダンサー1名)

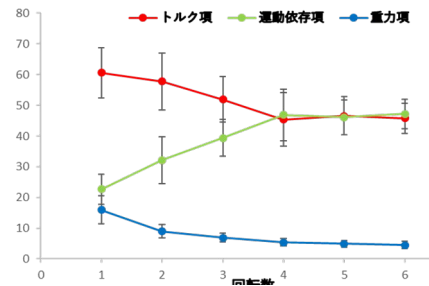


図3 各回転数における動力学的貢献

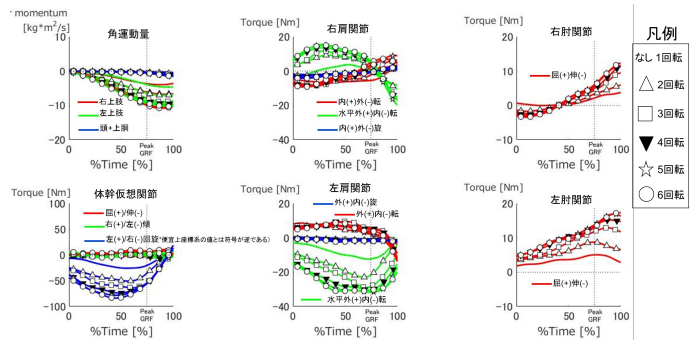


図4. 上:角運動量;下:体幹仮想関節トルク(代表的なダンサー1名) 図5. 肩・肘関節での主要な関節トルク(代表的なダンサー1名)

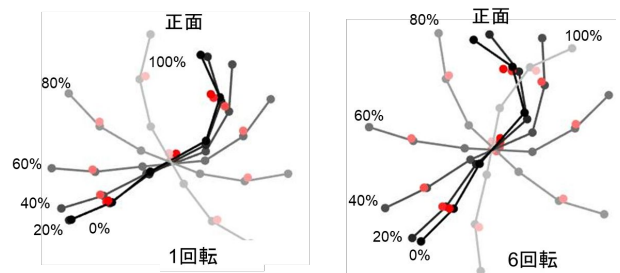


図6 上肢の旋回の様子．赤点は上肢の合成質量中心の位置．

< 議論 >

角運動量の生成要因から考えられるトルク発揮の意味

上肢旋回時前半：角運動量は上腕の右回旋トルク由来（図2）．

・上腕は右回転が小さいことから，上腕の右回旋トルクは左右の肩関節水平内外転トルクのカウンターバランスとして発揮される（図4,5）．左右の肩関節水平内外転トルクは即時的に角運動量を生成せず上腕の右回旋トルクを生み出すきっかけであり，「腕を回して身体を回さず」，上腕のトルクを生み出すと考えられる．

上肢旋回時後半：運動依存項由来の角運動量に注目して（図2）．

・60%Time 以降では，右肩関節水平内外転トルク，左肩関節水平内転トルクおよび左肘関節屈曲トルクの累積的な効果により角運動量が増加する（図2）．60～80%Time では右上肢が水平外転し，それ以降は水平内転トルクにシフトしその反作用で上腕の右回旋が促進される（図4,5）．左上肢がまっすぐに伸びた肢位から左肩関節水平内転、左肘関節屈曲の順にトルク発揮を大きくすることで，累積的な効果を高めつつ左上肢を抱え込む姿勢へとスムーズに変化する（図5,6）．このようなトルク発揮が以降の上腕の角運動量を増加させる．

・上腕を近位とすれば，角運動量はwhip-like-motionのように近位のトルク発揮をベースに増加するが，ピルエットでは上腕をあまり回転させずに近位のトルクが発揮されたり，左上肢ではトルク発揮のピークが近位から遠位へと起こって上肢から上腕に移動するなどの特徴がある．

回転数に応じた調整

・4回転までは回転数に応じた運動依存力による角運動量の増加が有効である．

それ以上では角運動量以外の要因(バランス保持)も回転の成功に関わるだろう．

< まとめ >

角運動量は上腕の右回旋トルクの貢献をベースに生成されるが，同トルクは上肢の右回旋に対して発揮される（図2）．

・4回転以上の多回転において，左右の肩水平内外転トルクや左肘屈曲トルクの運動依存力による角運動量の生成が顕著である（図3）．

本研究期間で習得したIAA解析法を用いて，今後全身でのIAA解析を進めていく．現在全身の解析をすすめており，そこでは支持足に作用する外力モーメントの入力がIAA解析の中で課題となっている．IAA解析では少なからずモデルの身体特性を表す係数の誤差に

よると現実の動作との誤差が生じるため，その誤差をカバーする外力モーメントの入力が課題となっている．引き続き対象とする全身の系の運動方程式を見直し，全身の分析を進めていく予定である．

5．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

片脚支持回転動作における上肢の角運動量生成メカニズム

-回転数の増大が身体長軸周りの角運動量に及ぼす影響

井村祥子、飯野要一、小池関也

（第68回日本体育学会大会，2017年9月）

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

井村 祥子 (IMURA AKIKO)

首都大学東京・人間健康科学研究科・助教

研究者番号：30586699

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：

(4)研究協力者
小池関也 (KOIME SEKIYA)