〔博士論文概要〕

プレセット局面中の運動準備状態がドロップジャンプのパフォーマンスに及ぼす影響
―時系列的な運動連関に着目して―

平成 28 年度

吉田　拓矢

筑波大学大学院人間総合科学研究科コーチング学専攻

多くのスポーツに内在する走動作や跳動作は，下肢の主働筋がエキセントリックに強制伸張した後にコンセントリックに短縮する伸張－短縮サイクル運動（Stretch-shortening cycle movement: SSC 運動）によって遂行されている．そのために，競技スポーツにおけるパフォーマンスを向上させるためには，下肢の SSC 運動における遂行能力を高めることが重要な一要因となる．この下肢の SSC 運動の遂行能力を高めるためのトレーニング法としてプライオメトリックトレーニングがあり，その代表的なエクササイズとしてドロップジャンプ（Drop jump: DJ）が挙げられる. DJ は台高や跳躍技術を変更することによって様々なトレーニング負荷を課すことができるとともに，DJ における跳躍高を接地時間で除すことによって求められる DJ-index を用いて SSC 運動の遂行能力を評価するテスト運動としても実施されている．

これまでの DJ に関する研究を概観すると，台上から落下し着地後，即座に切り返して跳び上がる一連の局面が連鎖しており，そこには種々の運動連関が生じていることが明らかにされている．DJ ではまず，接地の約 100 ms 前から下肢の主働筋には予備緊張，いわゆる pre-activation を生じさせるとともに，この予備緊張を伴った先取り動作によって，接地前から下肢の主働筋群は力を発揮して，瞬時にかかる大きな地面反力に抗することができるようになる．その際，接地瞬間から下肢の主働筋群が強制的に伸張されることによって伸張反射が出現する．さらに下肢の主働筋群およびそれに関連した腱部には弾性エネルギーが貯蔵されることになり，その後のコンセントリックな収縮による筋力発揮に加えて，この弾性エネルギーが解放されて高い跳躍高を獲得できる．また，その際，足関節底屈筋群が最も大きな仕事を行っており，これによって足関節底屈トルクを発揮して短時間に高い跳躍高が獲得されている．これらのことをまとめると，DJ における一連のパフォーマンス構造には，pre-activation 局面，踏切前半局面，踏切後半局面という時系列な運動連関が存在していることが考えられる．

これらのことに加えて，本研究では，上記した DJ に関する局面のさらに前の台上に位置して跳び降りるまでのプレセット局面に着目した．プレセット局面は，DJ をトレーニング

手段として用いる際，単に台上から跳び降りていることが多く，ほとんど意識が置かれていない局面である．しかしながら，踏切中の伸張反射は運動皮質を含む脳内状態の影響を受けており，その中で皮質内抑制回路の興奮性の影響を受けることが近年に報告されている．また，伸張反射を制御する脳領域は小脳などの皮質下であり，この領域は運動学習による運動プログラム形成に関与し，筋の伸張を適切に行うためのフィードフォワード制御として踏切中の伸張反射に影響していることが考えられる．したがって，DJ における踏切中の伸張反射を適切に働かせるために，pre-activation 局面よりも前のプレセット局面で皮質内抑制回路の興奮性を変化させていること，つまり DJ における運動連関は，これまで指摘されてきた開始点である pre-activation 局面よりもさらに前のプレセット局面から開始し，パフォーマンスに影響している可能性が考えられる．

以上のことをまとめると，プレセット局面中の運動準備状態（脳内状態），踏切中の伸張反射，踏切中の足関節トルク発揮が，DJ のパフォーマンスの獲得へと連関していることが考えられる．しかしながら，ここに示したようなプレセットからパフォーマンス獲得に至るまでの時系列的な運動連関について検討した研究はこれまでに見当たらない．

そこで本研究では，DJ におけるプレセット局面中の脳内状態がパフォーマンスに及ぼす影響について検討するとともに，プレセットからパフォーマンス獲得に至るまでの時系列的な運動連関について検討することとした．

研究課題 1 では，プレセット局面中の皮質内抑制回路の興奮性と DJ のパフォーマンスとの関係について検討した．研究課題 1-1 では，DJ のプレセット局面中における皮質内抑制回路の興奮性を，二連発磁気刺激（Paired-pulse transcranial magnetic stimulation: Paired-pulse TMS）による運動野短間隔皮質内抑制（Short-interval intracortical inhibition: SICI）によって評価し，その興奮性と DJ のパフォーマンスの関係について検討した．被験者は，陸上競技の跳躍競技者 13 名（Jumper 群）と陸上競技の短距離，中長距離およびハードル競技者 9 名（Other 群）とした．実験条件は，Paired-pulse TMS 後に DJ を行うプレセット条件と Paired-pulse TMS 後に DJ を行わないコントロール条件の 2 条件とした．実験試技は，3 種類の台高（0.30 m, 0.45 m, 0.60 m）から手を腰に当てた状態での DJ とした．その際の DJ パフォーマンスは，DJ-index，接地時間，跳躍高によって評価した．プレセット局面中の SICI は，内側腓腹筋を対象とし，約 24 秒のプレセット局面中に Paired-pulse TMS によって記録された 2 種類の MEP（単発磁気刺激から記録した MEP_{TEST} と二連発刺激から記録した MEP_{3ms}）の相対値から算出した．また，コントロール条件に対する各台高のプレセット条件における SICI の変化を評価するために，⊿SICI（コントロール条件の SICI に対する各台高におけるプレセット条件の SICI を差し引いた値）を算出した．その結果，Jumper 群は Other 群と比較して，すべての台高条件で DJ-index，跳躍高が高く，接地時間が短かった．また，Jumper 群は最も高い 0.60 m の台高において最も高い跳躍高を獲得していた．そこで，優れた SSC 運動の遂行能力を有する Jumper 群におけるプレセット局面中の SICI の特徴について検討したところ，⊿SICI は，いずれの台

高においても Jumper 群が正の値，Other 群は負の値となり，両群間に有意差が認められた（なお，⊿SICI は値が高くなるほど，皮質内抑制回路の興奮性が低下する，いわゆる脱抑制状態であることを意味する）．また，Jumper 群において，⊿SICI の値は台高の上昇とともに高くなり，最も高い 0.60 m の台高でより顕著であった．さらに，プレセット局面中の⊿SICI と DJ-index との関係性は，台高の上昇に伴って高くなり，最も高い 0.60 m の台高ではこれらの変数間に有意な相関関係が認められた．これらの結果から，プレセット局面中に皮質内抑制回路がより脱抑制状態となることが高い DJ パフォーマンス発揮に影響している可能性があり，特に，伸張負荷が高い 0.60 m の台高ではその傾向が顕著になることが示された．

研究課題 1-2 では，プレセット局面中の主働筋と拮抗筋における皮質内抑制回路の興奮性の相違について検討した．研究課題 1-1 に参加した Jumper 群のうちの 7 名を対象として，研究課題 1-1 と同様の実験条件（プレセット条件，コントロール条件），および台高（0.30 m, 0.45 m, 0.60 m）からの DJ を行わせた．プレセット局面中の SICI および⊿SICI は主働筋である腓腹筋（MG）と拮抗筋である前脛骨筋（TA）から算出した．その結果，プレセット局面中に MG においては台高の上昇とともに⊿SICI の値が高くなった一方で，TA においては変化しなかった．これらの結果から，プレセット局面中の脱抑制状態は，主働筋を支配する脳領域において選択的に生じ，拮抗筋を支配する脳領域には生じないことが示された．

研究課題 2 では，DJ におけるプレセット局面中の皮質内抑制回路の興奮性，踏切中の伸張反射および力学的にみた足関節底屈トルク，パフォーマンス変数という時系列的に生じる事項の関係性について検討し，DJ のプレセットからパフォーマンス獲得に至る時系列的な運動連関について検討した．12 名の体育専攻学生を対象として，0.60 m からの DJ を行わせた．算出項目は，DJ パフォーマンスを評価する DJ-index，プレセット局面中の皮質内抑制回路の興奮性を評価する内側腓腹筋を対象とした⊿SICI，踏切前半の H-reflex を評価する内側腓腹筋を対象とした%H-reflex（安静時の H-reflex に対する踏切時の H-reflex），踏切前半の足関節トルクを評価する最大足関節底屈トルクを算出した．その結果，DJ におけるプレセット局面中の⊿SICI と最終的な DJ-index との間には有意な正の相関関係が認められた．そこで，プレセットからパフォーマンス獲得までに存在している時系列的な運動連関に注目し，それぞれの関係について検討した．その結果，DJ におけるプレセット局面中の⊿SICI と踏切前半の%H-reflex との間には有意な正の相関関係が，踏切前半の%H-reflex と踏切前半の足関節最大底屈トルクとの間には有意な正の相関関係が認められた．さらに，踏切前半の足関節最大底屈トルクと DJ-index との間にも有意な正の相関関係が認められた．これらのことから，DJ のプレセットからパフォーマンス獲得に至るまでには，プレセット局面中における皮質内抑制回路の興奮性の低下によって踏切前半における伸張反射が促通し，その伸張反射の促通によって足関節底屈トルクが増大するといった時系列的な連関が存在しており，これにより高いパフォーマンスが獲得されることが示唆された．

以上の結果から，DJ はプレセットからパフォーマンス獲得に至るまでに各局面の運動要因が連関して，パフォーマンスを獲得することが明らかになった．本研究の結果を考慮すると，DJ をプライオメトリックトレーニングとして用いるためには，踏切局面における出来事のみを考えるのではなく，それより以前の落下前の台上におけるプレセット局面における脳内状態がパフォーマンスに大きく影響することを理解してトレーニングを実施することが重要であると考えられる．一方で，本研究の結果から，プレセット局面では必ずしもすべての競技者で脱抑制状態が生じるわけではないことが考えられる．そのために，DJ を実施する際にプレセット局面で意図的に脱抑制状態を作り出すための方法を考える必要がある．本研究から得られた結果は，DJ におけるプレセットの重要性を指摘できるとともに，プレセット局面に着目したプライオメトリックトレーニング理論を構築するための知見を提供するものである．