

〔博士論文概要〕

## 自転車運動後の下肢における伸張－短縮サイクル遂行機能の変化が その後のランニングに及ぼす影響

令和2年度

高橋啓悟

筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻

### 【緒言】

トライアスロンは、水泳、自転車およびランニングを一人の選手が連続して行う競技である。その競技特性から、自転車からランニングへと種目を移行する際に呼吸の乱れや動きのぎこちなさが生じることが競技現場で頻繁に報告されている。この現象を明らかにするために、これまで多くの研究で自転車運動がその後のランニングに及ぼす影響が検討されてきた。そして、ランニングだけを行う場合 (IR: Isolated Running) と比較して自転車運動後のランニングでは、生理応答や走動作が変化すること、その変化には個人差があることが明らかとなっており、生理学およびバイオメカニクスの観点から、呼吸の乱れや動きのぎこちなさといった現象が捉えられている。このような中で、自転車運動後のランニングにおける生理学およびバイオメカニクス的变化を抑制するために、自転車運動の直後にランニングを行うトレーニング (以下、ブリクトレーニングとする) が多くの研究で推奨されている。また、ブリクトレーニングは実際の競技現場でトライアスロン発祥当初から行われている。しかしながら、自転車運動後のランニングに関するこれまでの研究は生理応答や走動作が変化する現象の観察にとどまっており、その原因は明らかでないため、ブリクトレーニングがもたらす効果、あるいはブリクトレーニングとは別に効果的なトレーニングがあるのかは明らかとされていない。自転車からランニングへの種目移行に対する妥当なトレーニング方法を提言するためには、自転車運動後のランニングで生理学およびバイオメカニクスの指標が変化する原因を明らかにする必要がある。

ランニングは下肢の筋腱複合体が伸張した後に短縮する伸張－短縮サイクル (SSC: Stretch-Shortening Cycle) を伴う運動である。SSC運動にとって接地前の事前筋活動および接地直後の伸張反射は神経筋の制御の点で重要とされている。自転車運動後のランニングにおける筋活動を検討した研究では、自転車運動後のランニングでは同じ走速度でのIRと比較して、一定速度の走運動を遂行する際の筋動員パターンが変化すること、筋動員パターンの数が増加することが観察されており、これは、自転車運動がSSC運動 (ランニング) における神経筋の制御に影響することを示唆している。これら自転車運動がランニングに及ぼす影響とSSC機能の特徴を踏まえると、自転車運動がその後のSSC運動における事前筋活動および伸張反射といった神経筋の制御に影響を及ぼし、それがSSC機能の低下として現れると考えられる。さらに、SSC機能が低下した場合には、弾性エネルギーの利用が損なわれ、同じパフォーマンスを発揮するための余分な筋力発揮を強いられ、酸素摂取量が増加すると考えられている。以上を踏まえると、これまでの先行研究で観察されているIRに対する自転車運動後のランニングでの生理応答や走動作の変化の原因の一つに自転車運動によるSSC機能の変化の可能性が考えられる。

そこで、本研究では自転車運動がランニングに及ぼす影響をSSC機能に着目し、その実態を明らかにすることを目的とした。

### 【研究課題1】

文献研究から、自転車運動後のランニングでは生理応答および走動作の変化が観察されているものの、競技現場で重要とされているパフォーマンスについては十分に明らかではないことが示された。そこで研究課題1では、実際のレースにおいて、IRとトライアスロンのランニング (TR: Triathlon Running) を比較し、パフォーマンスの変化とその個人差の実態を明らかにすることを目的とし、日本トライアスロン連合が公開しているレースの記録を用いて検討した。その結果、IRに対してTRパフォーマンスは低下し、その低下の程度にはばらつきがあることが明らかとなった。また、その低下の大小はトライアスロンの総合成績に影響し、IRに対するTRパフォーマンスの低下を最小限に抑えることは総合成績にとって重要であることが示された。

### 【研究課題2】

研究課題2-1では、ランニングは下肢のSSCを伴う運動であることから、自転車運動がSSC機能に及ぼす影響を検討した。換気性閾値 (VT: Ventilatory Threshold) の110%での自転車運動前後で連続ホッピングによるSSC機能を比較した結果、1) 自転車運動後にSSC機能が低下すること、2) その低下には個人間で差があることが示された。また、自転車運動後にSSC機能が低下する原因は運動による代謝ストレスである可能性が示唆された。

研究課題2-2では、代謝ストレスの影響を検討するために、代謝ストレスの程度に差が生じるような運動強度の相違が自転車運動後のSSC機能に及ぼす影響を検討した。その結果、1) VTの90~110%付近の強度において、自転車運動後のSSC機能低下には運動強度は関係しないこと、2) 自転車運動後のSSC機能低下には運動による代謝ストレスは関係せず、自転車運動そのものに起因する可能性が示された。しかしながら、自転車運動後のSSC機能低下は運動負荷による疲労である可能性があり、自転車運動そのものの影響を受けているかは断定できなかった。

研究課題2-3では、自転車運動後にSSC機能が低下する原因は自転車運動そのものなのか、運動負荷による疲労なのかを検討した。自転車運動による疲労の影響を破棄するために、自転車運動と同じ相対強度 (90%VT) で、かつSSC運動であるランニング条件と自転車運動条件を比較した。その結果、自転車運動条件ではSSC機能が低下したものの、ランニング条件では低下しなかった。このことから、自転車運動後のSSC機能低下は運動負荷による疲労ではなく、自転車運動そのものに起因することが示された。

研究課題2-4では、自転車運動後のSSC機能低下は事前筋活動と伸張反射といった神経筋制御の変化と関係するかを検討した。自転車運動前後でのSSC機能の変化と連続ホッピング中の筋電図データから算出した事前筋活動および短潜時伸張反射との関係を分析した。その結果、自転車運動後のSSC機能低下には伸張反射の変化が関係することが示され、自転車運動後のSSC運動といった異なる様式の運動を連続することによる神経筋制御の干渉がSSC機能を低下させていることが示唆された。

### 【研究課題3】

これまでの研究課題から、自転車運動後にSSC機能が低下することが示されたものの、そのSSC機能低下がランニングにおける生理学およびバイオメカニクス的指標を変化させるか否かは不明であった。そこで研究課題3では、自転車運動に伴うSSC機能の低下がその後のランニングに及ぼす生理学、バイオメカニクス的影響を明らかにすることを目的とした。対象者に、IRと自転車運動後のランニングを行わせ、IRに対する自転車運動後のランニングでの生理学、バイオメカニクス指標の変化を分析した。その結果、1) 自転車運動に伴うSSC機能の低下はその後のランニングにおける呼吸循環応答を増大させること、2) 自転車運動後のSSC機能低下はその後のランニングによって回復すること、3) IRに対する自転車運動後のランニングにおける呼吸循環応答の増大はランニングを継続すると消失し、それはSSC機能の回復と関連することが明らかとなった。

### 【研究課題4】

研究課題4では、自転車運動後のSSC機能低下の個人差とブリクトレーニングとの関係を検討した。その結果、ブリクトレーニング経験が多い者ほど、SSC機能の低下が小さい関係が示唆され、ブリクトレーニングは自転車運動後のSSC機能低下の抑制に効果がある可能性が示された。

### 【総合考察】

研究課題1では実際のレースにおけるIRとTRを比較し、IRに対してTRのパフォーマンスは平均で1分15秒～4分24秒低下することが明らかとなった。そして、研究課題2-1および3から、自転車運動後にSSC機能が低下した場合には、その後のランニングにおいて酸素摂取量が約2%増大した。これは5 km走のタイムに当てはめると、約30秒タイムが低下することに相当した。これらの結果から、自転車運動後のSSC機能低下はその後のランニングにおける生理応答を変化させる原因の一つであること、SSC機能低下のみで、IRに対するTRのパフォーマンス低下をすべて説明できるわけではなく、その他の要因も影響することが示された。

SSC機能の低下に関する先行研究では、マラソンや100回連続ジャンプ後にSSC機能が低下し、その原因に筋損傷や血中乳酸の蓄積を生むような代謝ストレスが挙げられている。一方で、代謝ストレスを伴うような高強度ランニング後にSSC機能が低下しないことが複数の研究で報告されており、代謝ストレスがSSC機能低下の原因であるかは不明であった。研究課題2-2、2-3および2-4から、自転車運動後のSSC機能低下には運動による代謝ストレスは関係せず、自転車運動そのものに起因し、異なる運動を連続することによる神経筋制御の干渉が影響することが示唆された。

研究課題2-4および4から、SSC機能低下にはブリクトレーニングの経験が関係する可能性が示され、そのトレーニングを行なうことで、自転車運動後にランニングを行う際に神経筋の干渉が抑えられることで運動パターンを切り替えることができるようになると推察された。しかしながら、ブリクトレーニングだけでSSC機能低下のすべてを説明することはできず、その他の要因についても考慮し、今後さらなる検討が必要であることが示された。

### 【結論】

自転車運動後にSSC機能は低下する。そして、そのSSC機能低下はその後のランニングにおける生理応答および走動作を変化させる原因の一つである。また、自転車運動後のSSC機能低下を抑制させることは、自転車運動からランニングへの種目移行をスムーズに行うために有効であり、そのトレーニングとしてブリクトレーニングが有効である可能性がある。