

ボート競技におけるローイングパワーの安定性 漕手の体力特性および艇速との関係

(Power consistency in rowing: relation to physical capacity of rowers and boat speed)

下田 学 (manabu Shimoda) 紹介：川上 泰雄 教授

ボート競技は、手漕ぎボートによる 2000 m のレースである。そして、脚伸展による上体の移動とともにオールを水中で動かすドライブと次のドライブのために姿勢を戻すフォワードから成る一連の運動（ストローク）が繰り返される。競技中のストロークは 200 回を超え、ボート選手（漕手）がストロークで発揮するパワー（ローイングパワー）が、漕手 オール ボート機構を通してボートの推進力に変換される。そこで、漕手がオールに加える力やローイングパワーにおけるストローク毎に生じる変動（安定性）が注目されている。しかし、安定性が何を反映し、安定性と本競技のパフォーマンスとの間にどのような関連があるのかについては明らかでない。そこで、以下の研究を通して、ローイングパワーの安定性がボートの速度（艇速）に及ぼす影響およびローイングパワーの安定性に影響を及ぼす因子を検討し、ローイングパワーの安定性と本競技のパフォーマンスの関係を明らかにすることを目的とした。

研究1 ローイングパワーの安定性と艇速の関係

ローイングパワーの安定性が艇速に及ぼす影響を明らかにするために、シングルスカルの実漕（300 m）において、ローイングパワー、クラッチに加えられる力（クラッチの力積）および艇速を分析した。

艇速の平均値とローイングパワーの平均値および変動係数（CVP）の間に相関関係が認められ、艇速がローイングパワーの大きさのみならず、ローイングパワーの安定性の影響を受けることが示唆された。また、CVP とクラッチの力積の平均値、1 ストロークの艇速変動および 300 m 間の艇速の変動係数の間に相関関係が認められたことから、ローイングパワーの安定性がボートに作用する力に影響を及ぼすことが確認された。そして、ローイングパワーの安定性が、1 ストロークの艇速変動を抑えるとともに、300 m 間の艇速を一定に維持することに貢献していると推察された。そこで、安定したローイングパワーの発揮によって艇速の変動に起因する艇速の低下が抑えられる。そして、漕手が発揮するローイングパワーがボートの推進に有効に作用すると考えられた。

クラッチの力積の変動係数とクラッチの力積の平均値および艇速の平均値の間に、有意な関係は認められなかった。

これらのことは、不安定なパワー発揮によってボートに作用する力が不安定になることに伴って、ボートが受ける水の抵抗が複雑に変化することを反映している。そして、オールからクラッチへ伝えられる力の中でボートの推進に作用しない力の割合が増加すると推察された。そこで、ローイングパワーの安定性は、漕手 オール ボート機構によって産み出される力をボートの推進に効果的に作用させることにも貢献すると考えられた。

研究2 ローイングパワーの安定性と最大酸素摂取量、機械的効率および脚伸展パワーの関係

ローイングパワーの安定性を規定する体力面の因子を明らかにするために、ローイングパワーの安定性と漕手の最大酸素摂取量（ VO_{2max} ）、機械的効率および脚伸展パワーの関係を調べた。エルゴメーター漕による漸増負荷試験を行い、漕手の VO_{2max} および機械的効率を求めた。機械的効率は、オールを牽引する仕事量（ W ）と VO_2 から求められる熱量の仕事等価量（ E ）の間の比率（Gross efficiency: GE）を計算し、被験者がパワーを維持できた最も高い負荷におけるGE（ $GE_{highload}$ ）を求めた。また、 W と E の回帰直線の傾き（Apparent efficiency: AE）を求めた。ローイングパワーの安定性の指標として、漸増負荷試験中、10 秒毎に計測したパワーの変動係数（CVP）を求めた。また、最大脚伸展パワーおよび 2000 m エルゴメーター漕のタイムを計測した。

2000 m エルゴメーター漕のタイムとCVPの間に相関関係が認められた。そして、2000 m エルゴメーター漕のタイムを目的変数とし、 VO_{2max} 、機械的効率（AEおよび $GE_{highload}$ ）、脚伸展パワーおよびCVPを説明変数としてステップワイズ法を用いた重回帰分析を行った結果、 VO_{2max} 、脚伸展パワーおよびCVPが説明変数に採用されたことから、ローイングパワーの安定性が、漕手の VO_{2max} および脚伸展パワーと同様に本競技のパフォーマンスに関係することが確認された。また、2000 m エルゴメーター漕のタイムと VO_{2max} の単回帰モデルにおける残差とCVPの間に相関関係が認められたことから、本競技のパフォーマンスについて、 VO_{2max} では説明しきれない要因に、ローイングパワーの安定性が関係していると考えられた。

ローイングパワーの安定性は体重あたりの VO_{2max} との間

に相関関係が認められた。しかし、脚伸展パワーとの間には有意な関係が認められなかった。これらのことから、有酸素性エネルギー供給能力の高い漕手は、ポート漕ぎ運動を行っている間のエネルギー供給が安定しているため、変動の少ない安定したローイングパワーの発揮を繰り返すことができる。また、漕手の力の発揮特性として力発揮を持続することが挙げられていることから、ローイングパワーの安定性は脚伸展パワーの大きさと異なる能力、すなわち、ローイングパワーの持続力に関係すると考えられた。

本競技において、CVPが小さい、すなわち、ローイングパワーの安定性が高いことが効率を高めることに貢献すると予想される。しかし、CVPとAEおよび $GE_{high\ load}$ の間に相関関係は認められなかった。また、AEおよび $GE_{high\ load}$ と2000 m漕のタイムの間に有意な関係は認められなかった。6分間のローイングタンク漕（競技のシミュレーション）における平均パワーとGEの間に有意な関係が認められなかったという先行研究の報告と合わせて考えると、ポート漕ぎ運動の効率について、また、ローイングパワーの安定性とポート漕ぎ運動の効率の関係について、さらに研究が必要であると考えられた。

研究3 ローイングパワーの安定性とクリティカルパワーの関係

持続的な運動において、仕事と疲労困憊に至るまでの時間の間には直線関係が認められる（仕事 時間関係）。その直線の傾きはクリティカルパワー(Critical power: CP)と呼ばれ、理論的に疲労を引き起こさないで持続されるパワーの最大値と定義される。すなわち、CPIには個人のパワーの持続力が反映される。また、回帰直線のy切片は、個人の無酸素性運動能力 (Anaerobic work capacity: AWC)を表している。そこで、エルゴメーター漕における仕事 時間関係からCPおよびAWCを求め、ローイングパワーの安定性とCP、AWCおよび2000 m漕の成績の関係を検討した。最大パワーの50、60 および70% (50、60 および70%MAX) のパワーを持続するエルゴメーター漕の仕事 時間関係から、CPおよびAWCを求めた。ローイングパワーの安定性の指標として、50 および60%MAX試行のパワーの変動係数を求めた ($CVP_{50\%MAX}$ および $CVP_{60\%MAX}$)。また、2000 mエルゴメーター漕のタイム、パワーおよび VO_{2max} を計測した。

CPと2000 m漕のパワーの平均値および VO_{2max} の間に相関関係が認められ、AWCと2000 m漕のパワーの平均値の間には、相関関係が認められなかった。これらのことから、CPが VO_{2max} と同様に本競技のパフォーマンスに関連することが明らかになった。また、 $CVP_{50\%MAX}$ および $CVP_{60\%MAX}$ の両方はCPとの間に相関関係が認められ、AWCとの間には相関関係が認められなかったことから、ローイングパワーの安

定性が、AWCに関係なく、CPと関連することが示唆された。漕手はストローク毎に、間欠的にローイングパワーを発揮する。そこで、ストローク毎にエルゴメーターに加えらる力が変化し、ストローク毎に異なる抵抗がエルゴメーターの回転板にはたらく。ローイングパワーの安定性が低い、すなわち、ローイングパワーが大きく変動する場合、回転板にはたらく抵抗の変化が大きくなるのがローイングパワーを持続することを妨げる要因になると推察された。

総括論議

本研究の結果、ローイングパワーの安定性は、実漕において、1 ストロークの艇速変動およびストローク間に生じる艇速の変動に影響を及ぼし、ポートを漕いだ全体の距離における平均艇速に影響を及ぼすことが確認された。また、エルゴメーター漕において、エルゴメーターの回転板にはたらく抵抗と関係することが考えられる。漕手の VO_{2max} 、また、脚伸展で発揮される力や脚伸展パワーはローイングパワーの大きさに関連する指標である。一方、ローイングパワーの安定性は、ポートおよびエルゴメーターに対するローイングパワーの伝達に関連する指標である。すなわち、安定したローイングパワーの発揮は、実漕において、艇速の維持、エルゴメーター漕において、ローイングパワーの維持に貢献すると考えられる。

運動を継続する時、活動している筋における酸化の亢進、また、呼吸循環系における酸素運搬能を超える酸素の需要が生じることにより力の持続が妨げられる。そして、筋におけるエネルギーの産生率と利用率の間の不均衡も力の産生の低下を引き起こす要因であると指摘されている。そこで、運動中に生じるパワー発揮の変動は、酸素やエネルギーの需要と供給に不均衡を生じさせると推察される。そして、運動中に生じるパワー発揮の変動を抑えることが、疲労の進行を抑えてパワーを持続させることに貢献する、または、パワーを持続することを有利にするように運動が調整され、その結果、パワー発揮の安定性が高まると考えられる。

また、実漕において、ローイングパワーの安定性とローイングパワーの大きさ（ストロークの平均パワー）の間に有意な関係が認められなかった。これは、パフォーマンスに対する外的要因の影響が大きい実漕においては、ローイングパワーの安定性がローイングパワーの大きさに依存しない、独立した艇速の因子であることを示唆している。以上のことから、ローイングパワーの安定性は本競技のパフォーマンスに係わる重要な要素であると結論付けられる。