

平成13年度第2回10月3日

演題：ヒトの運動開始時における換気亢進

演者：宮村 実晴（体育科学部）

安静時から運動を行わせた場合、運動開始と同時に1呼吸目から毎分換気量は15－20秒間急増し一旦プラトーに達した後、2－3分の間指数関数的に増加し、4－5分で定常状態に至り、運動を中止すると換気量は急激に減少し、その後徐々に減少し安静時のレベルに戻るといってそれぞれ3相の変化をする。Whippはこれら3相の変化をPhase I、Phase II、Phase IIIと名づけた。

これまで多くの研究者によって運動開始1呼吸目から観察される換気量のステップ状の急増（Phase I）に関する研究が行われてきた。まずPhase Iは随意運動や受動運動ばかりでなく、電気刺激による運動時においても観察される。これまでの報告では、受動的運動より随意運動のPhase Iの方が大きいことが知られている。また運動の頻度や強度が高い時と比べ低い時の方がPhase Iは小さい。われわれはこれまで立位姿勢と仰臥姿勢、脚運動と腕運動、子供と大人、青年と高齢者、持久的トレーニング者と非トレーニング者のPhase Iを比較した結果、仰臥姿勢、腕運動、大人、青年、非持久的トレーニング者のPhase Iの方が脚運動、子供、高齢者およびトレーニング者よりもそれぞれ大きいことを明らかにしてきた。

ところで、およそ100年の歳月をかけて運動時換気亢進の生理学的背景（メカニズム）について追求されてきたが、特にPhase Iを体液性要因で説明することは難しいとされている。何故なら、例えば活動筋で生成された代謝産物などが呼吸中枢を刺激するとしても、それにはおよそ20秒を要するからである。現在、Phase Iの神経的要因として中枢性ドライブと末梢性ドライブが挙げられている。すなわち、KroghとLindhard（1913）は大脳皮質の運動野からの運動指令が骨格筋だけでなく延髄にある呼吸中枢へも放散（irradiation）し、これが換気を増大させるという考え（central command説）を提唱した。これに対し、McCloskeyとMitchell（1972）は、骨格筋からの求心性神経の内、グループIとグループIIをブロックしても換気量に変化は認められないが、痛みや圧につながるグループIII、グループIVをブロックすると運動開始時の換気増大が消失することを明らかにした。もしグループIII、IVを介する神経衝撃（peripheral reflex説）のみでPhase Iを説明できるならば、両足による受動的運動のPhase Iは片足のそれと比べ2倍になると仮定される。しかしわれわれは、

両足の受動的運動におけるPhase Iは片足のそれと比べ約1.5倍、さらに睡眠時のPhase Iは覚醒時におけるPhase Iよりおよそ2倍になることを観察した。これらの結果は、少なくとも覚醒時随意運動におけるPhase Iには、中枢性ドライブと末梢性ドライブが混在していることを意味している。

最近、われわれは前庭器官からの神経衝撃がPhase Iに関与しているか否かを確かめるため2つの実験を行った。まず傾斜板（tilting plate）を用い、被検者を仰臥姿勢にした状態から検者が約1.5秒かけて傾斜板を約70度（立位姿勢）にした時（up-tilt）あるいはその逆（70度の立位姿勢から仰臥姿勢）にした時（down-tilt）の換気応答を測定した。その結果、両条件とも毎分換気量の急増（Phase I）が観察された。両条件下における毎分呼吸数はほとんど変化しなかったことから、これら毎分換気量の急増は一回換気量の増大によるものであった。次に身体を回転させた時の呼吸循環応答を比較・検討した。すなわち、被検者を椅子に坐らせた姿勢（椅座位姿勢）で開眼および閉眼した状態において、検者が約1.5秒かけて椅子を右（Right-turn）あるいは左に180度回転させた時（left-turn）の呼吸循環応答を測定した。興味ある結果として、right-turnにおける平均血圧は回転開始直後から5秒まで急増するのに対し、left-turnにおける平均血圧は1秒後低下しその後5秒まで急増した。right-turnとleft-turn直後（1秒値）の平均血圧応答の違いは心臓の位置が関係するかもしれない。一方、左および右の回転（left-turn, right-turn）により毎分換気量の急増（Phase I）は観察されたが、開眼および閉眼共に右回転時のPhase Iに比べ左回転の方が大きかった。right-turnとleft-turnにおけるPhase Iの違いの理由に関しては明らかではないが、本実験の結果はヒトの運動開始時における換気亢進（Phase I）には、central commandやperipheral reflexのみならず、前庭器官からの神経衝撃（vestibular reflex）も関与していることを示唆するものであろう。