



Title	高強度運動に対する肺換気応答の調節に関する研究：行動性呼吸調節因子の関与について〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	山中, 亮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	甲第11052号
Issue Date	2013-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53231
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryo_Yamanaka_abstract.pdf, 「論文内容の要旨」



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（教育学）

氏名 山中 亮

学位論文名

高強度運動に対する肺換気応答の調節に関する研究 －行動性呼吸調節因子の関与について－

呼吸の主要な役割は、肺における換気とガス交換を通して、体液恒常性を正常に保つことにある。このような呼吸は、自動性呼吸と呼ばれており、脳幹呼吸中枢によって自動的に制御されている。運動時に観察される呼吸亢進は、基本的に、この自動制御系に依存している。したがって、運動時における呼吸の恒常性維持機能は無意識的に実行される機構であるといえる。一方、呼吸にはもう一つの側面がある。例えば、管楽器の演奏や歌を唄う時のように、意図的に呼吸のリズムや深さを調節することが可能である。また、恐怖や不安などの情動によって非意図的に呼吸が変化することもある。このような呼吸は、行動性呼吸と呼ばれており、その制御には大脳皮質や辺縁系が関与していることが最近になり分かってきた。さらに、安静下運動イメージ時の肺換気応答が検討され、運動に対する努力感が行動性呼吸調節因子として重要視されている。このことは、努力を要する高強度の運動においては特に、自動性呼吸調節因子に加えて、努力感が行動性呼吸調節因子として運動時換気応答に関与している可能性を示唆するものである。しかし現時点においては、高強度運動時の肺換気亢進は、血液 pH の低下を中心とする自動性呼吸調節因子によって制御されると理解されており、行動性呼吸調節因子の関与について、実際の運動を用いた検討は行われていない。そこで本研究では、高強度運動に対する肺換気応答に努力感が関与するメカニズムを明らかにすることを目的に、以下の 3 つの実験を行った。

実験 I では、高強度運動（intense exercise: IE）に対する肺換気応答に血液 pH の低下が関与するのかどうかを検討した。また、努力感は一般的に運動中枢から活動肢に対する運動指令インパルス（セントラルモーターコマンド）の大きさに依存し、さらにこのインパルスが活動肢のみならず呼吸中枢へも放散され、その結果として呼吸がドライブされると考えられている。よって、実験 I では、セントラルモーターコマンドが血液 pH の低下と関係するのかどうか、そして、IE に対する換気量（ $\dot{V}_E$ ）はセントラルモーターコマンドによって影響を受けるのかどうかを明らかにするために、 NaHCO_3 摂取に伴う代謝性アルカローシスが IE 時およびその後の回復時における $\dot{V}_E$ 、積分筋電図（integrated electromyogram: iEMG）および脚の努力感に及ぼす影響を検証した。iEMG はセントラルモーターコマンドの指標として測定した。努力感は、ボルグスケールを用いて評価した。6 人の被験者に、2 回の IE テスト（ NaHCO_3 摂取条件、コントロール条件）を行わせた。IE テストのプロトコルは、20W で 6 分間のウォーミングアップ（pre-IE）、2 分間の IE（最大酸素摂取量の 105-110% 強度）および 20W で 30 分間の動的回復（post-IE）から構成された。実験の結果、IE 時および回復時において、血液 pH

は条件間で有意な差異が認められたが、iEMG、脚の努力感および $\dot{V}E$ には条件間で差が認められなかった。セントラルモーターコマンドを反映する iEMG は IE 終了直後に pre-IE のレベルに戻ったが、脚の努力感は緩やかな回復動態を示した。IE 後の回復時における $\dot{V}E$ は、IE 終了後の約 50 秒まで急激に低下し (fast phase)、その後緩やかな回復動態を示した (slow phase)。IE 後の回復時における fast phase の $\dot{V}E$ および slow phase の $\dot{V}E$ は、それぞれ IE 終了時点の脚の努力感および IE 終了後 3 分以降の脚の努力感と有意な相関関係を示した。これらのことから、IE に対する肺換気応答には、血液 pH の低下よりむしろ、セントラルモーターコマンドと直接的に関連しない努力感が優位に関与していると考えられた。

実験 II では、筋グリコーゲン量の低下が、IE に対する EMG 活動、努力感および肺換気応答に及ぼす影響を検討することを目的とした。8 人の被験者は、100-120 分の間隔 (20 分間の安静回復、40 分間の換気性閾値強度での運動、40-60 分間の安静回復) を挟み、3 回 (IE1st、IE2nd、IE3rd) の IE を行った。その結果、IE 時およびその後の回復時の血液 pH は、IE1st よりも IE3rd において有意に高くなった。IE 時の脚の努力感は、IE1st および IE2nd よりも IE3rd において有意に高くなった。IE 時に右外側広筋から得られた iEMG は、IE1st よりも IE3rd において有意に低くなった。一方、EMG の平均パワー周波数 (MPF) は、IE1st よりも IE2nd および IE3rd において有意に高くなった。IE 時およびその後の回復時の初期 1 分間の $\dot{V}E$ は、IE1st よりも IE3rd において有意に高くなった。これらの結果から、IE に対する肺換気応答は、血液 pH の低下よりむしろ努力感の増加と密接に関係していること、および努力感の増加はセントラルモーターコマンドとは独立的に生じることが示唆された。

実験 III では、IE 終了後の回復時における努力感を閉眼により操作した際に、努力感の変化に応じて肺換気応答が影響を受けるのかどうかを検討するとともに、努力感と肺換気応答の係に自律神経活動が影響しているのかどうかを検討した。8 人の被験者は、閉眼条件と開眼条件で IE テストを行った。IE テストは、5 分間の安静、90 秒間の IE、10 分間の安静回復から構成された。自律神経活動は、心拍変動の周波数分析によって得られた低周波数成分 (LF) と高周波数成分 (HF) の比較によって評価した。実験の結果、IE 終了後の回復時における全身の努力感は、回復時に閉眼することによって回復 10 分目で有意に低下した。IE 後の回復時の後半 5 分間において、交感神経活動の指標である LF/HF には両条件間で差異が認められなかったが、 $\dot{V}E$ の積算値は閉眼条件において開眼条件よりも有意に低くなった。以上のことから、IE 後の回復時における主観的な感覚の変化に応じて肺換気応答が影響を受ける可能性と、主観的な感覚と肺換気応答の係に対して自律神経活動の関与が認められないことが示唆された。

以上のことから、高強度運動に対する肺換気応答には、血液 pH の低下よりもむしろ脚の努力感の増加が強く関与していることが示された。また、高強度運動時における努力感に依存した肺換気亢進には、必ずしも活動肢に対するセントラルモーターコマンドを必要としないことが示唆された。すなわち、努力感は、自動性呼吸調節因子としてではなく、行動性呼吸調節因子として、高強度運動に対する肺換気応答に関与していると考えられた。また、高強度運動終了後の安静回復時における肺換気亢進の持続には、脚の努力感のような局所的な要因あるいは知覚ではなく、中枢および末梢の多様な要因が関与する全身的な主観的な感覚が影響している可能性が示された。