HOKKAIDO UNIVERSITY

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_review.pdf, 「審査の要旨」

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士（教育学）　　氏名　　山中　亮

審査担当者　主査　准教授　柚木　孝敬　（北海道大学大学院教育学研究院）
副査　教　授　矢野　德郎　（北海道大学大学院教育学研究院）
副査　教　授　水野　眞佐夫（北海道大学大学院教育学研究院）
副査　教　授　平木場　浩二（九州工業大学大学院情報工学研究院）
副査　教　授　泉崎　雅彦　（昭和大学医学部生理学講座）

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―

身体運動を持続するためには、体内にO_2を取り入れることによりエネルギー代謝を確保し、同時に代謝産物をCO_2として体外に除去する必要がある。このようなガス交換に外呼吸レベルで重要な役割を果たしているのが肺換気である。

運動時の肺換気は、基本的に、脳幹呼吸中枢の制御を受けている。脳幹呼吸中枢には、運動の実行に伴う神経性・体液性因子の変動が呼吸調節因子として入力され、それに応じる形で反射的・無意識的に肺換気が制御される。このような呼吸は自動性呼吸と称され、そのメカニズムは主に麻酔下動物実験の結果から明らかにされてきた。

一方、覚醒下にある人間においては、身体運動を行なうという行為がモチベーション、努力、情動といった意識的要素と結合している。このことは、運動時の肺換気制御もまたそのような心的過程と不可分の関係にある可能性を示唆している。実際、呼吸には、行動性呼吸と称される、辺縁系や大脳皮質を中枢とする意識性の高い呼吸も存在する。近年の脳機能画像化技術の発展に伴い、行動性呼吸に関する研究が急速に進み始めている（Evans 2010）。これまでの研究で、運動のイメージに伴う努力感に関連して、辺縁系や大脳皮質の活性化と並列的に呼吸循環が活性化することが報告されている。このことから、実際の運動時、特に強い努力感が要求される高強度運動においては、肺換気制御に主観的要素である努力感が行動性呼吸調節因子として関与する可能性が示唆される。そこで本論文では、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について検討を試みている。

高強度運動を行うと、乳酸が生成され血液 pH が低下する。血液 pH の低下は、化学受容器を介して呼吸を刺激する主要な体液性因子として認知されている。実験 1（Eur J Appl Physiol, 2011）では、血液 pH の低下を$NaHCO_3$投与により抑制しても、高強度運動（様式：自転車ペダリング（脚運動）、強度：最大酸素摂取量の約 105%、時間：2 分、以下 IE（intense exercise））

に対する肺換気応答に変化が生じないことを示した。そしてその肺換気応答が脚の努力感（Borg scale による評価）と有意な正の相関関係を示すことを見いだした。一般的に、努力感は、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）の大きさに依存していると考えられている。さらに、このインパルスは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（Goodwin *et al.* 1972）。すなわち、努力感がセントラルモーターコマンドを介して肺換気応答の亢進をもたらす機序が想定可能である。しかしながら、本実験では、セントラルモーターコマンドの指標として測定された脚の筋電図活動（積分筋電図：iEMG）の変化動態と脚の努力感の変化動態が対応しないことを確認した。

実験 2（Eur J Appl Physiol, 2012）では、血液 pH に加え、努力感を操作することで、IE に対する換気応答と努力感の関係をさらに詳しく検討している。中強度長時間運動を間に挟みながら IE を繰り返すことで、筋グリコーゲン量が段階的に低下するため、IE に伴う乳酸生成は低下し、結果として、血液 pH の低下は徐々に抑制された。従来的な考えでは、血液 pH の低下が抑制されることに伴い、肺換気応答も抑制されることになる。しかしながら実験 2 では、IE の反復に伴って、IE に対する肺換気応答はむしろ徐々に増強されること、そしてその増強が脚の努力感の増加と密接に関係していることを確認した。さらに、IE 時の iEMG は IE の反復に伴って徐々に低下することを示した。

実験 3 では、努力感依存性の肺換気亢進に交感神経活動が関与するか否かを検討するため、IE 終了後の安静回復を開眼と閉眼の 2 条件で比較した。その結果、閉眼によって、脚の努力感と交感神経活動は変化しないが、全身の努力感と換気量が低下することを示した。

以上の 3 つの実験の結果から以下の結論を導いている。1）IE に対する肺換気応答には、血液 pH の低下よりむしろ努力感が強く関与している。2）努力感に依存した肺換気応答には、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。すなわち、努力感は、行動性呼吸調節因子として IE に対する肺換気応答に関与している。3）IE 終了後の安静回復時における肺換気動態には、脚の努力感のような局所的感覚ではなく、多様な要因が関与する全身的な主観的感覚が影響している可能性が高い。

高強度運動に対する肺換気応答に努力感が関与する機序の詳細については未だ検討の余地があるが、本論文は主観的要素を呼吸の生理メカニズムに位置付けた先駆的な研究であり、当該分野の研究に大きく寄与するものである。

以上より、著者は北海道大学博士（教育学）の学位を授与される資格があるものと認める。