

学内研究組織成果報告（2024年度）

研究課題：「呼吸循環調節系の運動適応・学習機構の解明とシステム変容の時系列予測モデルの開発」

上肢エルゴメータによる最大運動負荷試験における 生理応答の再現性評価

Physiological Reproducibility of Maximal Exercise Responses
Using an Upper Limb Ergometer

宮本 忠吉 (Miyamoto Tadayoshi)

【背景及び目的】最大運動負荷試験（CPX）は心肺機能評価の標準的手法であるが、既存研究の大部分は下肢運動に基づいており、上肢運動による知見は著しく不足している。上肢運動は動員筋量が少ないため最大酸素摂取量 ($\text{VO}_{2\text{max}}$) が低値となるが、下肢運動困難な患者や上肢優位スポーツ選手の評価において重要性が高まっている。しかし、上肢エルゴメータによる最大運動負荷試験の再現性を包括的に検証した報告は限られている。そこで本研究は、健常成人を対象として上肢エルゴメータによる最大運動負荷試験を複数回実施し、呼吸代謝指標および心拍数応答の再現性を統計学的に検証することを目的とした。

【方法】健常成人 30 名（男性 22 名、女性 8 名）を対象に、2 週間以内に上肢エルゴメータによる最大運動負荷試験を 2 回実施した。3 分間安静後、20W で 3 分間ウォーミングアップを行い、30W/min のランプ負荷で疲労困憊まで運動を継続させた。呼気ガス分析装置により呼吸循環機能を連続測定し、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、最大換気量 (VE_{max})、最大心拍数 (HR_{max})、最大運動負荷量 (WR_{max}) を評価した。統計解析には対応のある t 検定、級内相関係数 (ICC)、変動係数 (CV) を用いた。

【結果】 $\text{VO}_{2\text{max}}$ は 1 回目 $1,801 \pm 463 \text{ mL/min}$ 、2 回目 $1,860 \pm 500 \text{ mL/min}$ で試行間に有意差を認めず ($p=0.267$)、ICC=0.827（良好な再現性）、CV=15.6% であった。VE_{max} は 1 回目 $86 \pm 22 \text{ L/min}$ から 2 回目 $94 \pm 26 \text{ L/min}$ へ有意に増加し ($p=0.005$)、ICC=0.799、CV=17.6% であった。HR_{max} は 1 回目 $166 \pm 15 \text{ bpm}$ から 2 回目 $172 \pm 14 \text{ bpm}$ へ有意に増加し ($p=0.007$)、ICC=0.762、CV=4.8% であった。WR_{max} は 1 回目 $161 \pm 38 \text{ W}$ から 2 回目 $174 \pm 38 \text{ W}$ へ有意に増加し ($p=0.001$)、ICC=0.915（非常に高い再現性）、CV=9.5% であった。 $\Delta \text{VE}_{\text{max}}$ と $\Delta \text{WR}_{\text{max}}$ 間には有意な正の相関が認められた ($r=0.68$, $p<0.01$)。

【結論】上肢エルゴメータによる最大運動負荷試験において、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、VE_{max}、HR_{max}、WR_{max} は良好な再現性を示した。特に $\text{VO}_{2\text{max}}$ は試行間で安定し、WR_{max} は極めて高い再現性を有することが確認された。VE_{max} および HR_{max} の向上は習熟効果や呼吸循環応答の適応を反映し、換気応答が運動遂行能力の向上に寄与する可能性が示唆された。これらの知見は、上肢 CPX が臨床評価、リハビリテーション、上肢主体の競技スポーツにおける信頼性の高い評価手段となり得ることを示している。