

学位論文題名

換気性作業閾値前後における筋電図および心電図RR  
間隔変動のスペクトル解析による運動特性に関する研究

学位論文内容の要旨

緒言

近年、新しい運動強度の指標として有酸素運動で行いうる最大強度、すなわち無酸素性作業閾値(anaerobic threshold: AT)が注目されている。ATレベルの運動が身体に及ぼす影響については、血中乳酸濃度の上昇がほとんどなく、長時間の運動が可能であり、循環系に対する負荷は軽度で、脂肪組織からの脂肪酸の遊離を促し、筋組織内で消費させ、総コレステロールとトリグリセリドが有意に低下することなどが報告されているが、筋肉や自律神経系に及ぼす影響についてはまだ十分明らかにされていない。本研究は運動強度の指標としての換気性作業閾値(VT)に着目し、VT強度を指標とした一定運動負荷の特性を明らかにすることを目的として筋電図およびRR間隔変動の最大エントロピー法によるスペクトル解析(MEM解析)を行い検討した。

方法

1.対象と運動方法：被験者は健康男子学生11名(平均年齢23歳)を被験者として、室温22度、湿度50~60%に環境制御された実験室へ入室させた後、安静閉眼坐位で5分間経過後、自転車エルゴメーターを50回/分で漕ぐことを指示された。0.4kpの負荷で3分間のウォーミングアップ後、1分毎に0.2kpづつ負荷量を増加するランプ運動負荷を心拍数が毎分170~180になるまで行わせ、ランプ運動負荷中の酸素摂取量と二酸化炭素排泄量からVTを求めた。VTを指標とした一定運動負荷試験では、VTの運動強度(VT条件)、VTより20%負荷を増した+20%強度(+20VT条件)、およびVTより20%負荷を少なくした-20%強度(-20VT条件)の3条件の強度で、それぞれ0.4kpのウォーミングアップ3分後、17分間の持続運動を行わせた。

2.スペクトル解析：運動中の内側広筋の筋電図を1KHzのサンプリング周波数でAD変換を行い、2秒間毎にMEM解析を行った。筋電図は20-50Hz、50-100Hz、100-150Hz、150-200Hzの4周波数帯域に区分し、各々の帯域のパワースペクトル密度(PSD)及び20-200Hzの全パワー値のPSD(Total PSD)を求めた。RR間隔変動のスペクトル解析は、心電図波形をサンプリングタイム1KHzでAD変換後、波形解析ソフトでRR間隔を計測し、MEM解析を行った。RR間隔変動のスペクトル解析の帯域区分は日本自律神経学会

の区分に従い、LF成分は0.04-0.15Hz、HF成分は0.15-0.4Hz とし各帯域毎に PSDを求め、さらにL/H比を算出した。

3、統計：統計処理は、Student's- t 検定およびピアソンの相関分析により検討した。すべての有意水準の決定は、5%以下の危険率とした。

### 結 果

ランプ運動負荷中のTotalPSDは開始時 $0.0098 \pm 0.003 \text{mV}^2/\text{Hz}$ （平均 $\pm$ SE以下同じ）、13分経過時は $0.0897 \pm 0.036 \text{mV}^2/\text{Hz}$ であり、開始時に比較して7分目より有意に増加した。各周波数帯域の%PSDでは、負荷開始時からの1分間に比較し、20-50Hz帯域では7分目より、50-100Hz 帯域では8分目から、100-150Hz 帯域では7分目から11分目までいずれも有意な増加が認められ、150-200Hz帯域は6分目のみ有意な増加が認められた。RR間隔変動のHF成分は開始時では $216.8 \pm 37.3 \text{msec}^2/\text{Hz}$ 、13分終了時は $38.7 \pm 26.8 \text{msec}^2/\text{Hz}$ であり運動負荷の増加に対し、HF成分は9分目を除いて6分目より13分目まですべての時間は開始時に比べて有意の減少を示した。L/H比は開始直後 $307.5 \pm 186.3\%$ 、終了時 $211.7 \pm 26.8\%$ を示し、運動負荷による有意な変動は認められなかった。

一定運動負荷におけるTotal PSDは+20VT条件がVT条件と-20VT条件に比較して有意の増加をした。%PSDは20-50Hz帯域および50-100Hz帯域では3条件間に有意な差が認められなかった。100-150Hz帯域では、+20VT条件は-20VT条件に比較し13分目と16分目に有意な増加が認められ、150-200Hz帯域では+20VT条件は-20VT条件に比較して14分目を除いて11分目から13分目と15分目から17分目まで有意な増加が認められた。一定運動負荷におけるHF成分は運動負荷開始時に比較して各条件ともに、3分目より有意な減少を認めた。各条件間の比較では、+20VT条件は-20VT条件に比較して5、6、8、9、10、12、13、15、17分目に有意な減少が認められ、+20VT条件はVT条件に比較して開始後4分目から13分目までと、16、17分目に有意な減少が認められた。L/H比は+20VT条件はVT条件に比較して3、6、11、17分目に有意な増加を認め、-20VT条件はVT条件に比較して3分目、11分目に有意な増加が認められた。

### 考 察

ランプ負荷運動において20-50Hz、50-100Hz 帯域では運動負荷の増加に伴い、%PSDが増加し、さらに100-150Hz においても%PSDの増加が認められたことは運動負荷の増加に伴い、タイプ1線維、タイプ2線維による筋収縮が増加することを示唆している。一定負荷運動では+20VT条件で20-50Hz、50-100Hz 帯域の%PSDに変化は認められないが、100-150Hz、150-200Hz 帯域の%PSDが経時的に増加することが明らかになった。+20%VT条件での100Hz以上の帯域の経時的な増加は一定運動負荷の維持にタイプ2B線維による筋収縮が増えてきたことを示唆している。

本研究では一定運動負荷のHF成分は運動負荷の強度に依存して減少したことから、HF成分は運動強度と関連することが推測された。一方、L/Hratioに関して-20VT、VT、+20VT条件間では有意な差が認められず、L/H比はVT前後での運動負荷の強度と関連がないことが示唆された。以上より一定運動負荷中のRR間隔変動のHF成分は副交感神経

の指標となる考えは支持されたが、L/H比を交感神経の指標とする考えは支持されないことが示された。

### 結 論

VTより20%強い運動強度は筋電図スペクトルの全パワー値の増加と経時的に100Hz以上の帯域の増加をもたらすことが明らかになり、VTを越える運動強度は筋肉への負担が大きく過度な運動であることが示された。従って、運動強度としてはVT以下の強度が望ましいことが示唆された。RR間隔変動のスペクトル解析では、HF成分は運動負荷量の増加に伴い減少することが明らかになり、副交感神経系の指標とする考えが支持された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 齋 藤 和 雄

副 査 教 授 岸 玲 子

副 査 教 授 真 野 行 生

学 位 論 文 題 名

## 換気性作業閾値前後における筋電図および心電図RR 間隔変動のスペクトル解析による運動特性に関する研究

近年、新しい運動強度の指標として有酸素運動で行いうる最大強度、すなわち無酸素性作業閾値(anaerobic threshold: AT)が注目されている。ATレベルの運動が筋肉や自律神経系に及ぼす影響については、まだ十分明らかにされていない。本研究は運動強度の指標としての換気性作業閾値(VT)に着目し、VT強度を指標とした一定運動負荷の影響を明らかにすることを目的として筋電図および心電図RR間隔変動の最大エントロピー法によるスペクトル解析(MEM解析)を行い検討した。

被験者は健康男子学生11名(平均年齢23歳)で安静閉眼坐位で5分間経過後、自転車エルゴメーターを用いて1分毎に0.2kpづつ負荷量が増加するランプ運動負荷を心拍数が毎分170~180になるまで行わせ、ランプ運動負荷中の酸素摂取量と二酸化炭素排泄量からVTを求めた。VTを指標とした一定運動負荷試験では、VTより20%負荷を少なくした-20VT条件、VTの運動強度(VT条件)、VTより20%負荷を増した+20VT条件の3条件で、それぞれ0.4kpのウォーミングアップ3分後、17分間の持続運動を行わせ、内側広筋の筋電図と心電図を導出した。筋電図はAD変換後2秒毎のMEM解析を行った。筋電図は20-50Hz、50-100Hz、100-150Hz、150-200Hzに区分し、各々の帯域のパワースペクトル密度(PSD)及び20-200Hzの全パワー値のPSD(Total PSD)を求めた。心電図RR間隔変動のMEM解析は1分毎に行い、LF成分は0.04-0.15Hz、HF成分は0.15-0.4Hzとし、各帯域毎にPSDを求め、さらにL/H比を算出した。

ランプ運動負荷中のTotal PSDは開始時に比較して7分目より有意に増加した。各周波数帯域の%PSDでは、負荷開始時からの1分間に比較し、20-50Hz帯域では7分目より、50-100Hz帯域では8分目から、100-150Hz帯域では7分目から11分目まで有意な増加が認められ、150-200Hz帯域は6分目のみ有意な増加が認められた。心電図RR間隔変動のHF成分は9分目を除いて6分目より13分目まですべての時間は開始時に比べて有意の減少を示した。L/H比は運動負荷による有意な変動は認められなかった。一定運動負荷におけるTotal PSDは+20VT条件がVT条件と-20VT条件に比較して有意の増加をした。

%PSDは20-50Hz帯域および50-100Hz帯域では3条件間に有意な差が認められなかったが100-150Hz帯域と150-200Hz帯域では+20VT条件は-20VT条件に比較して有意な増加が認められた。一定運動負荷におけるHF成分は運動負荷開始時に比較して各条件ともに、3分目より有意な減少を認めた。各条件間の比較では、+20VT条件は-20VT条件に比較して有意な減少が認められ、+20VT条件はVT条件に比較して有意な減少が認められた。L/H比は一定の変動が認められなかった。これらのことから、一定負荷運動では+20VT条件で20-50Hz、50-100Hz帯域の%PSDに変化は認められないが、100-150Hz、150-200Hz帯域の%PSDが経時的に増加することが明らかになった。+20%VT条件での100Hz以上の帯域の経時的な増加は一定運動負荷の維持にtype II b線維による筋収縮が増えてきたことを示唆している。一定運動負荷のHF成分は運動負荷の強度に依存して減少したことから、HF成分は運動強度と関連することが推測された。

審査にあたって、副査の岸教授から、VTを指標とした意味と筋電図および心電図RR間隔変動との関係、さらに運動負荷強度にともなう心拍数および呼吸数の増加と心電図RR間隔変動HF成分L/H比に与える影響、ATを基準とした運動の高齢者や障害者への応用に関して、次いで副査の真野教授から内側広筋を選んだ理由、type II bの経時的参加の増加の割合について質問を受けた、申請者からはこれらの質問に対して十分満足する回答が得られた。

本論文は無酸素性作業閾値(AT)を基準としたレベルの運動の有効性を明らかにしたもので、審査員一同はこれらの成果を高く評価し、申請者が博士(医学)の学位を受けるのに価するものと判定した。