

学 位 論 文 題 名

Anaerobic Threshold を基準とした運動強度の脳波

および心電図 R-R 間隔変動におよぼす影響

学位論文内容の要旨

目 的

適度な運動は、身体的および精神的ストレスを緩和させることが知られている。これまで運動の精神心理的効果に関しては、急性運動後の自己記入式調査票を用いた調査で、不安および鬱の減少や気分の改善が認められ、それらと脳波alpha波パワー値の増加との相関が報告されている。しかし、急性運動後の脳波のパワー値の増加には否定的な報告もあり、統一した見解は得られていない。この理由として、これまでの研究の運動強度の設定が不十分であることが考えられる。身体運動のためのエネルギー供給は、運動強度の増加に伴い好氣的から嫌氣的なエネルギー供給が主となる。そのため、このようなエネルギー供給システムの変化が、急性運動後の脳波変化の差をもたらすことが推測される。本研究では、エネルギー供給システムの変化点を示すとされるAnaerobic Threshold(AT)を基準にそれより低い強度と高い強度の3種の急性運動負荷を与えて、脳波および心電図のR-R間隔変動(heart rate variability: HRV)に及ぼす影響を明らかにし、健康の維持増進に有用かつ適正な運動強度を予防医学的に検討することを目的とした。

対象および方法

対象は、年齢20歳から26歳の右利きの健康成人男子11名(平均22.0歳, SD1.5歳)で、各被験者のAT測定は、自転車エルゴメーターを用いてランプ負荷法(0.2kp/min)で心拍数が170から180bpm(beats per minute)に達するまで運動を行わせた時の呼気ガスからV-slope法により算出した。実験条件は、(1) 20分間の安静開眼座位条件(rest), (2) 自転車エルゴメーターによる3種の運動負荷でATより20%少ない強度20分間(-20), (3) AT強度を維持してAT時点での心拍数が1.2倍になるまでの時間(AT), (4) AT+20%の強度20分間(+20)を行わせた。各実験条件の前後15分間に安静閉眼座位状態の脳波を測定し、各運動条件終了直前に自覚的運動強度を測定した。脳波は国際規格10-20法に従い両耳朶を不関電極とし、単極誘導でCz, Pz, O1およびO2より導出し、同時に眼球運動、心電図、呼吸曲線を測定した。

脳波および心電図のR-R間隔変動(HRV)の解析にはMEM(maximum entropy method)による周波数スペクトル解析を用いた。脳波解析は、10msec毎10秒間(1000点)を1エポックとして、各条件の直前(pre)と終了直後(post)5分間30エポックについて、周波数スペクトル解析を行い、全周波数(0.5-30Hz)と、delta (0.5-4Hz), theta (4-8Hz), alpha 1 (8-11Hz), alpha 2 (11-14Hz), beta 1 (14-20Hz), beta 2 (20-30Hz)波のパワースペクトル積分値(power spectral density: PSD)および各帯域の全パワー積分値に対する比率(power time percent: Time%)を求めた。さらに、Pzにおける全周波

数, $\delta + \theta$ および β の指数スペクトルの傾き k を算出した。HRVは, preおよびpost5分間のデータについて1分ごとにスペクトル解析を行い, 日本自律神経学会の定義により低周波成分(low frequency: LF, 0.04-0.15Hz)と高周波成分(high frequency: HF, 0.15-0.4Hz)について帯域別PSDを求め, HF成分を副交感神経系の指標として, HF成分に対するLF成分の比(L/H)を交感神経系と副交感神経系のバランスを示す指標として求めた。PSDおよびTime%はpreからの変化率を算出し検討した。さらにpre, post各5分間と4条件の負荷中の心電図R-R間隔データから, 心拍数(bpm)も算出した。

結 果

脳波全PSDの変化率は, 安静後に比べて運動後に増加する傾向が認められ, Pzでは+20条件で, O1では-20条件で, O2では-20および+20条件で安静との間に有意差が認められた。脳波各帯域のPSD変化率は, θ 波を除く各帯域で安静時に比べて運動後に増加する傾向が認められ, 他の帯域に比べて特に α 波の増加が大きく, O1およびO2では, ATより少ない低強度運動負荷条件(-20)で安静に比べて α 1波の変化率が有意に増加した。また, 運動強度の増加に伴って δ および β 2波のPSD変化率が増加する傾向が認められた。脳波各帯域のTime%変化率に関しては, 安静時に比べて運動後の θ 波が減少し, +20条件の β 2波がO1では安静, -20, AT条件に比べて, O2では安静に比べて有意に増加した。心電図R-R間隔変動のPSD変化率に関しては, 安静時に比べて運動後ではHF成分が有意に減少し, 低強度に比べて高強度運動負荷条件ではL/H比が有意に増加した。自覚的運動強度は低強度運動負荷条件(-20)に比べて高強度運動負荷条件(ATおよび+20)で増加したが, ATと+20条件では差が認められなかった。脳波と心電図R-R間隔変動の関係では, 脳波 α 2波のパワー値と心電図R-R間隔変動のL/H比との相関関係が認められた。脳波指数スペクトルの傾きは, どの条件でも運動負荷前と運動負荷後で差は認められなかった。

考 察

安静条件と運動条件との比較から, 急性運動後に脳波パワー値が増加することが認められ, これまでの報告よりも低強度の-20条件の運動強度でも脳波パワー値が増加することが明らかになった。ATより低い運動強度とATおよびATより高い運動強度との比較から, 運動強度の増加に伴って脳波のパワー値が α 1波で減少し, δ 波で増加し, β 2波のパワー値および比率が増加し, 運動強度により各帯域の構成比が異なることが認められた。また, 急性運動後には副交感神経系の緊張の減少が認められ, ATより低い運動強度でも副交感神経系の活動が減少することが明らかとなった。しかし, 交感・副交感神経系のバランスでは, -20条件は安静条件と比べてL/H比は変わらないが, ATおよびATより高い運動強度は-20条件と比べてL/H比が増加し, ATを境として交感・副交感の自律神経系のバランスが著しく変動すると考えられた。さらに, 自覚的運動強度はATより低い運動強度とATおよびATより高い運動強度との間で差が認められた。これらより, 脳波, 心電図R-R間隔変動および自覚的運動強度の結果は, ATより低い強度の運動がATおよびATより高い強度の運動に比べて, 自覚的, 身体的に負担が少ないための変動と考えられた。また, 脳波 α 2波のパワー値および比率と心電図R-R間隔変動のL/H比との相関関係から, これらを同時に変動させる系の存在が示唆された。脳波の指数特性を示す脳波指数スペクトルの傾きではどの条件も負荷前と負荷後で変化が認められなかったが, 運動負荷によるカオス性の変動の有無は今後さらに詳細な検討が必要と考えられた。

結 語

ATより低い強度の運動後は、ATを超える強度の運動後に比べて脳波alpha 1 波パワー値の増加が大きく、安静と比べて交感・副交感神経系のバランスは変化せず、さらに自覚的にも負担が少ないことが明らかになった。これらから、ATより低い運動強度が、自覚的および身体的にも負担が少ないことから、この程度の負荷が健康の維持増進のために有用かつ適正な運動強度として予防医学的に重要な意味をもつと考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 齋 藤 和 雄

副 査 教 授 小 山 司

副 査 教 授 川 口 秀 明

学 位 論 文 題 名

Anaerobic Threshold を基準とした運動強度の脳波

および心電図 R-R 間隔変動におよぼす影響

適度な運動は、身体的および精神的ストレスを緩和させることが知られている。急性運動後の脳波に関しては、alpha波パワー値の増加が報告されているが、否定的な報告もあり、統一した見解は得られていない。本研究では、エネルギー供給の変化点を示すとされるAnaerobic Threshold(AT)を基準にそれより低い強度と高い強度の3種類の急性運動負荷を与えて、脳波および心電図のR-R間隔変動(HRV)からその評価を行うことを目的とした。対象は、年齢20歳から26歳の右利きの健康成人男子11名(平均22.0歳, SD1.5歳)で、各被験者のAT測定は、ランブ運動負荷による呼気ガスを分析し、V-slope法により行った。実験条件は、安静開眼座位20分間(rest), ATより20%少ない強度20分間(-20), AT強度で心拍数がAT時点の1.2倍になるまで(AT), ATより20%多い強度20分間(+20)で、各条件の前後15分間に安静閉眼座位状態の脳波および心電図を測定し、さらに、運動中は自覚的運動強度を測定した。脳波およびHRVの解析には最大エントロピー法を用いて周波数スペクトル解析を行った。脳波は、10msec毎10秒間(1,000点)を1エポックとして、各条件の直前(pre)と終了直後(post)5分間のスペクトル解析を行い、全周波数(0.5-30Hz)と、delta, theta, alpha 1, alpha 2, beta 1, beta 2波のパワースペクトル積分値(PSD)および各帯域の全パワー積分値に対する比率(Time%)を求めた。HRVは、preおよびpost5分間のデータについて1分ごとにスペクトル解析を行い、低周波成分(LF)と高周波成分(HF)についてPSDを求め、HF成分を副交感神経系の指標、HF成分に対するLF成分の比(L/H)を交感神経系と副交感神経系のバランスを示す指標とした。PSDおよびTime%はpreからの変化率を算出し検討した。心電図から、心拍数も算出した。脳波全PSDの変化率は、安静後に比べて運動後に増加する傾向が認められ、急性運動後にこれまでの報告よりも低強度の-20条件でも脳波パワー値が増加することが明らかになった。脳波各帯域のPSD変化率は、他の帯域に比べてalpha波の増加が大きく、運動強度の増加に伴ってdeltaおよびbeta

2波が増加する傾向が認められた。脳波各帯域のTime%変化率は、安静時に比べて運動後のtheta波が減少し、強度に伴いbeta 2波が増加した。PSDおよびTime%の結果より、運動強度により脳波各帯域の構成比の異なることが認められた。HRVのPSD変化率は、安静時に比べて運動後のHF成分が有意に減少し、-20条件に比べてATおよび+20条件ではL/H比が有意に増加し、ATを境として交感・副交感の自律神経系のバランスが著しく変動することが示唆された。さらに、運動後心拍数と自覚的運動強度は-20に比べてATおよび+20条件で有意に増加した。これら脳波、HRV、運動後心拍数および自覚的運動強度の結果から、ATを超える強度の運動は生体への負担が大きいことが推測され、ATより低い運動強度が、健康の維持増進のための運動強度として重要な意味をもつと考えられた。脳波と心電図R-R間隔変動の関係では、脳波alpha 2波のパワー値と心電図R-R間隔変動のL/H比との相関関係が認められ、これらを同時に変動させる系の存在が示唆された。

審査にあたって副査の小山教授から被験者の運動以外の影響因子の有無、実験日の設定、脳波測定が行われた安静閉眼時の状態、ATより20%低い負荷条件が健康増進に役立つとした根拠について、次いで副査の川口教授から運動負荷の順序、慣れ、ATを境とする自律神経系のバランス、脳波と心電図の同時測定の意味、脳波アルファ波の増減とリラクゼーションおよびストレスとの関連について質問があった。申請者は研究結果と文献引用からいずれの質問に対しても妥当な回答を行った。

以上、得られた知見はトータルヘルスプロモーションプランに関連して健康体育の面で有益であり、審査員一同はこれらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位などを併せ、申請者は博士（医学）の学位を受ける十分な資格を有するものと判定した。