

第4章 強度の異なる運動が感情と 脳波の偏側性に及ぼす効果

4. 1. 序論

身体活動と感情には密接な関連がある。運動後に生ずる快感情の増加や不快感情の減少、状態不安の軽減などが報告されてきた (Bahrke & Morgan, 1978; Biddle & Mutrie, 1991; Morgan et al., 1980; Nowlis & Greenberg, 1979; Willis & Campbell, 1992)。これらの研究では感情評価尺度を運動前と運動後に適用し、2つの時点から得られた結果を相互に比較しているものが多く、運動直後から回復時間に至る感情変化を追跡している研究は非常に少ない。感情変化に影響する客観的な運動強度はまだ不明ではあるが、運動に伴う快感情には、主観的な運動強度の関与が指摘されている (Tuson et al., 1995)。橋本他 (1991, 1994)は、遂行者自身が快適と感じる主観的な運動強度を快適自己ペース (CSEP)と定義した。

一方、運動による感情変化は、前頭部 EEG の左右差からも検討されてきた (Hatfield & Landers, 1987; Petruzzello, Hall, & Ekkekakis, 2001; Petruzzello & Landers, 1994; Petruzzello & Tate, 1997)。これらの研究では前頭部 EEG の左右差が、 α 帯域 (8 - 13 Hz) パワー値の左右差として捉えられており、当該部位の賦活は α 帯域パワー値の減衰によって推定されている。Davidson (1984, 1992)のモデルによれば、接近行動をもたらす快感情は左前頭部の相対的な賦活に関係し、逆に撤退行動をもたらす不快感情は右前頭部の相対的な賦活に関係する。

これまでの研究によれば、軽・中等度の運動強度に較べて、比較的強い運動強度や、運動時間が長くなると、運動後に生じる快感情と不安軽減の持続時間は延長することも示唆されている (Morgan, 1985; Raglin & Morgan, 1987; Sime, 1977)。

本実験では運動強度と感情の関係をさらに明らかにするために、快適自己ペース運動と $70\% \dot{V}O_2 \max$ (最大酸素摂取量の 70%) 運動を被験者に適用し、運動直後から回復時間に至る感情変化のプロセスと前頭部 EEG の左右差を検討した。快感情をもたらす主因が比較的強い運動強度であるならば、快適自己ペースよりも $70\% \dot{V}O_2 \max$ の運動強度の方が、運動後の不安軽減と快感情の発現効果は大きく、左前頭部に EEG 賦活が期待される。一方、快

感情をもたらす主因が快適自己ペース運動にあるならば、 $70\% \dot{V}O_2 \max$ よりも快適自己ペースの方が、運動後の不安軽減と快感情の発現効果は大きく、左前頭部の EEG 賦活が予測される。

4. 2. 方法

4. 2. 1. 被験者

常用手が右手の健康な男子大学生 9 名 (平均年齢 21.9 ± 0.78 歳) を対象とした。

4. 2. 2. 実験課題

課題は自転車エルゴメータ (竹井機器工業製 ヘルスガード・アクティブ 10) による 15 min の運動とした。快適自己ペース条件と $70\% \dot{V}O_2 \max$ 条件を設定した。快適自己ペース条件では、被験者が最も快適と感じる主観的運動強度で運動を行わせた。 $\dot{V}O_2 \max$ の定義は複数存在するが、本研究では 220 から年齢を減じることによって推定された最高 HR を用いた (American college of sports medicine, 1991)。 $70\% \dot{V}O_2 \max$ 条件は、被験者の最高 HR と安静時 HR を用いて、次式： $\{70\% \dot{V}O_2 \max \text{ HR} = 0.7 \times (\text{最高 HR} - \text{安静時 HR}) + \text{安静時 HR}\}$ から算出した HR を運動中維持することであった。安静時 HR は椅子に腰掛けた状態で、左手根掌側部から計数した 1 min 間の脈拍数とした。実験は 1 日に 1 条件を配し 2 日連続で行った。両条件の遂行順序は被験者間でカウンターバランスをとった。

4. 2. 3. 手続き

安静時 HR を測定し、 $70\% \dot{V}O_2 \max$ に相当する HR の推定後に、安静時記録を 10 min 測定した。その後、15 min の自転車エルゴメータ運動を課した。運動開始から 5 min で目標運動強度に到達するためのペース調節後に、10 min 一定のペースを維持させた。条件終了後には、安静時記録を 60 min 測定した。実験中は、80 dB / SPL のピンクノイズをヘッドフォンから呈示し、外部の遮音を図った。質問紙は運動前、運動中、運動終了後に行った。運

動中の質問紙聴取はマイクロフォンを通して行い、口頭により回答を得た。実験終了後に、内観報告を聴取した。被験者に与えた快適自己ペース条件の教示は橋本他（1994）に準じて、「運動中に苦痛感を伴わないこと、始めから終わりまで同じペースを守ること、運動後にもまた運動が継続できる余裕を残しておくこと」を含め主観的に最も快適と感じる速さで運動を行うことであった。一方、70% $\dot{V}O_2$ max 条件の教示は、「自転車エルゴメータ付属パネルに表示した HR 値を運動中維持すること」であった。両条件とも運動前後の安静時記録の際には、エルゴメータに向かって左側の椅子に腰掛け、できるだけ動かずに前方の印を持続的に注視させた。

4.2.4. 質問紙

先行研究と比較するために、橋本・斉藤・徳永・花村・磯貝（1996）を参考にして、以下に示す 3 種類の質問紙を用いた。

STAI：日本版 STAI（水口他，1991）を使用し、運動前、運動終了時点、運動終了後 15、30、45、60 min の各時点で状態不安を合計 6 回測定した。

RPE（Borg, 1970, 1973）：主観的運動強度を評価するため、0（全くなんともない）から 12（最大限オーバー）までの運動強度を 13 件法で評定する修正型（American college of sports medicine, 1991）を用いた。運動中の各 5、7、9、11、13、15 min 時点で合計 6 回測定した。

MCL-S1（mood check list-short form 1; 橋本他，1996）：MCL-3 尺度（mood check list-3; 橋本・高柳・徳永・斉藤・磯貝，1992）から抽出した「快感情」「リラックス感」の 8 項目と STAI から抽出した 2 項目を加えた計 10 項目で構成されている。本研究では上述した STAI を使用しているので、MCL-S1 の中から不安に関わる 2 項目を削除し、残りの 8 項目を利用した。回答は 7 件法で評定させた。最も肯定的感情には 3 点、最も否定的感情には - 3 点を配して得点化した。運動前、運動開始 5、10 min の時点、運動終了時点、運動終了後 15、30、45、60 min の各時点で合計 8 回測定した。

4. 2. 5. EEG の測定と記録方法

EEG の測定部位は国際 10 / 20 法による F3, F4 とし , 両耳垂結合を基準に T. C. 0.3 s , H. C. 30 Hz で導出した . 垂直方向の EOG も EEG に準じて導出した . 電極は銀塩化銀電極を用いた . EEG と EOG はポリグラフにより増幅し , レクチグラフを用いて紙送り速度 5 mm / s でペン書き記録すると同時に , データレコーダに磁気記録し , オフライン処理に供した . EEG は運動前の安静時 10 min と運動後の安静時 60 min に渡って測定した .

4. 2. 6. 分析方法

質問紙毎に評定値を算出し , STAI の状態不安得点 , RPE 評定値および MCL-S1 評定値の推移を条件間で比較した . MCL-S1 は快感情因子 4 項目 (生き生きしている , 爽快な気分である , はつらつしている , すっきりしている) の合計評定値と , リラックス感因子 4 項目 (リラックスしている , ゆったりしている , 落ち着いている , 穏やかな気分である) の合計評定値を求め , それぞれ快感情とリラックス感の代表値として条件間の推移を比較した .

EEG は多用途生体情報解析プログラム BIMUTAS (キッセイコムテック製) を用いて , サンプルング周波数 200 Hz で A / D 変換した後 , 高速フーリエ変換 (fast fourier transform: FFT) により パワー密度 ($\mu V^2 / Hz$) を算出した . 処理に際して , 瞬目などのアーチファクト相は慎重に除去した . 田中・林・堀 (1995) を参考に , 8 Hz 以上 9.5 Hz 未満を 1 , 以下同様に 9.5-11.5 Hz を 2 , 11.5-13 Hz を 3 と分けた . 周波数分解能は 0.2 Hz とした . 解析対象は運動前の安静時記録 10 min と , 運動終了後 5-15, 20-30, 35-45, 50-60 min の各回復区間とし , 各区間における F3 と F4 の パワー密度を条件別に求めた .

4. 2. 7. 統計方法

STAI と RPE には条件(2) × 時間(6) の 2 要因分散分析を , また MCL-S1 には条件(2) × 時間(8) の 2 要因分散分析をそれぞれ適用した . 各区間の EEG パワー密度については , 1, 2, 3 の帯域毎に対応のある t 検定を行った . 分散分析の多重比較には *Newman-Keuls* 法を

用い, $p < .05$ の場合に有意とした。

4.3. 結果

4.3.1. STAI

快適自己ペース条件と 70 % $\dot{V}O_2$ max 条件の状態不安得点推移を Fig. 6 に示した。条件(2) × 時間(6)の 2 要因分散分析をした結果 時間の主効果だけを認めた ($F(5, 40) = 4.72, p < .01$)。多重比較の結果, 両条件の状態不安得点は, 運動前に比較して運動終了後の全回復時点で有意な低下を示した ($ps < .05$)。

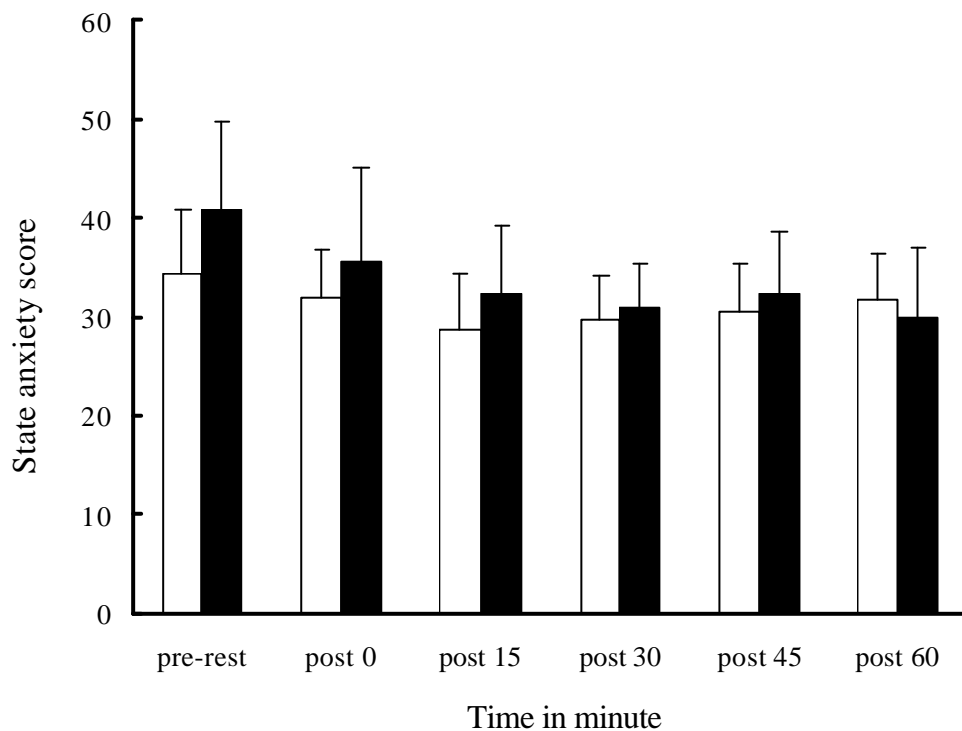


Fig. 6 State anxiety score (STAI) for comfortable self-established pace (CSEP) and 70% $\dot{V}O_2$ max exercise conditions.

4. 3. 2. RPE

両条件の RPE 得点推移を Fig. 7 に示した。条件(2) × 時間(6)の 2 要因分散分析の結果，条件の主効果だけを認め，快適自己ペース条件に比較して，70 % $\dot{V}O_2$ max 条件の主観的運動強度は有意に強かった ($F(1, 8) = 14.39, p < .01$)。

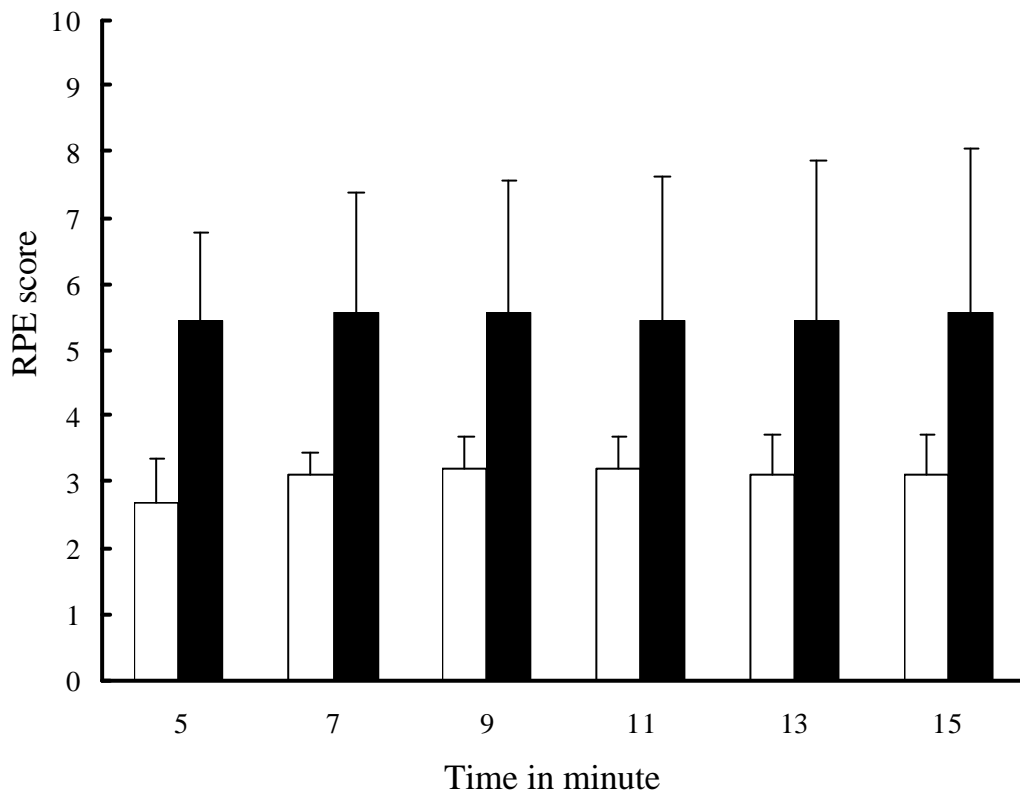


Fig. 7 Rate of perceived exertion (RPE) score for comfortable self-established pace (CSEP) and 70% $\dot{V}O_2$ max exercise conditions.

4. 3. 3. MCL-S1

両条件の快感情因子とリラックス感因子の得点推移を Fig. 8 に示した。快感情因子を条件(2) × 時間(8)の 2 要因分散分析した結果，交互作用を認めた ($F(7, 56) = 5.55, p < .01$)。多重

比較の結果，快適自己ペース条件では運動終了時点で生じた快感情が運動終了後の 15min 以降に低下した ($ps < .05$)。70 % $\dot{V}O_2$ max 条件では，運動終了後の 15, 30 min に生じた快感情は運動前よりも強く ($ps < .05$)，快適自己ペース条件の運動終了 45 min 後よりも強かった ($ps < .05$)。同様にリラックス感因子を条件(2)×時間(8)の 2 要因分散分析した結果，条件の主効果 ($F(1, 8) = 32.3, p < .01$)，時間の主効果 ($F(7, 56) = 21.3, p < .01$)，および交互作用を認められた ($F(7, 56) = 9.14, p < .01$)。多重比較の結果，70 % $\dot{V}O_2$ max 条件の運動開始 5, 10 min と運動終了時点は，他のいずれの時点よりも低かった ($ps < .05$)。

4. 3. 4. EEG

70 % $\dot{V}O_2$ max 条件時の パワー推移を Fig. 9 に示した。各分析区間で t 検定した結果，運動終了後 5-15 min 区間の 1 と 2 パワー密度は F3 が F4 よりも有意に減衰していた (1: $t(8) = 2.38, p < .05$; 2: $t(8) = 2.74, p < .05$)。また，運動終了後 20-30, 35-45, 50-60 min の各回復区間でも，F3 の 2 パワー密度は F4 よりも有意に減衰していた ($ps < .05$)。このように，運動終了後の回復時間には，左前頭部が右前頭部よりも持続的に賦活していた。しかしながら，快適自己ペース条件では運動終了後のいずれの回復区間にも，パワー密度に左右差を認めなかった。

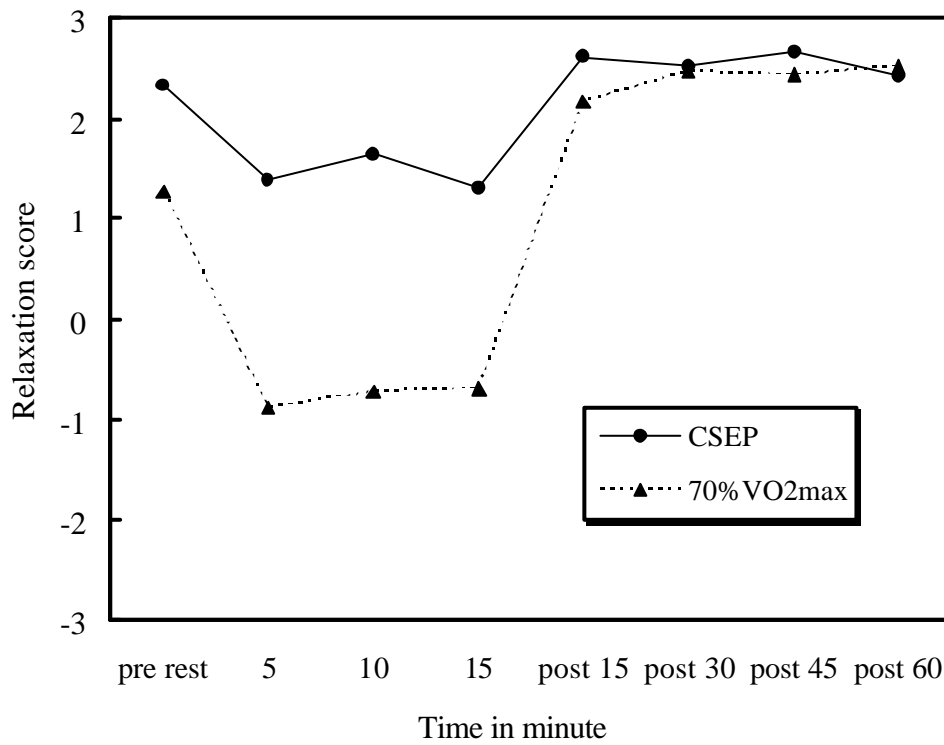
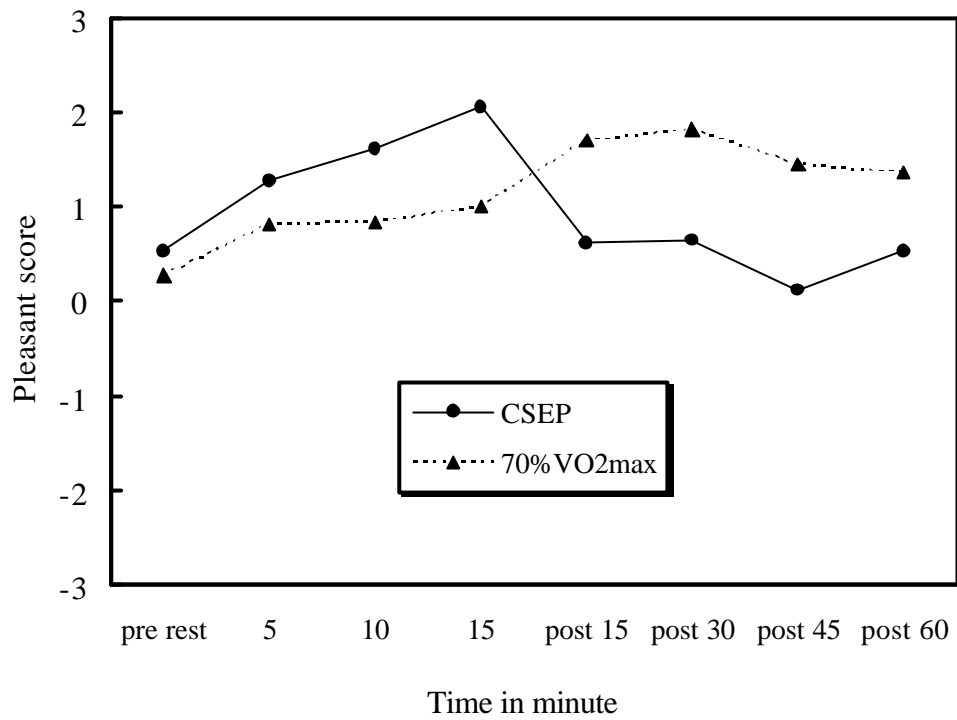


Fig. 8 Change in mood check list-form 1 (MCL-S1) scores for comfortable self-established pace (CSEP) and 70% $\dot{V}O_2$ max exercise conditions. Upper: pleasant score. Lower: relaxation score.

Fig. 9 Change in power ($\mu V^2 / Hz$) during exercise. The power-spectrum of the frontal EEG was classified as follows: 1, 8-9.5 Hz; 2, 9.5-11.5 Hz; 3, 11.5-13 Hz. Vertical bars show the S. Es. Upper: 70% $\dot{V}O_2$ max exercise conditions (* $p < .05$). Lower: comfortable self-established pace (CSEP).

4. 4. 考察

本実験では、強度の異なる運動が感情と前頭部 EEG に及ぼす効果を検討した。運動には快適自己ペース条件と $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 条件の 2 条件を設定し、それぞれ 15 min の自転車エルゴメータ運動とした。快適自己ペース条件と $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 条件では、運動の終了直後から 60 min の回復時点に至るまで状態不安が軽減した。状態不安の軽減に運動の強度差は反映されなかった。また、MCL-S1 の結果から、快適自己ペース条件と $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 条件の運動では、快感情やリラックス感の消長時点や持続時間に違いのあることが明らかとなった。

15 min のトレッドミル運動に快適自己ペース走を適用した研究（橋本他, 1996）では、運動開始 5 min 後から生じた快感情は、運動直後にピークを迎え、回復期まで有意に持続する。一方、リラックス感は運動終了後の回復期 15 min にピークを迎え、回復期 60 min まで有意に持続すると報告されている。同じ快適自己ペース条件を使用したにも関わらず、彼らの結果と本研究のそれとの間には相異がみられた。運動強度を調べてみると、橋本他（1996）の快適自己ペースは約 $52\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ の運動強度であるのに対し、本研究の快適自己ペースは HR から推定すると約 $30\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ の運動強度に相当していた。この運動強度の違いが、結果の差に反映したものと思われる。

各質問紙が実施された時点と、その近傍時間帯に出現した前頭部 EEG を両条件で比較してみると、以下に示す興味深い結果が得られた。快適自己ペース条件では、運動前と運動後の前頭部パワーに左右差はみられなかったが、 $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 条件ではパワーに左右差のない運動前に比較して、運動終了後の回復時間帯には左前頭部が持続的に賦活していた。一般的に、一側半球部位のパワーが対側半球の同部位に比較して相対的に減少を示すときは、その一側半球部位が賦活したサインと理解されている。活動が盛んなときに暗算課題を提示すると、活動が減衰する様相は周知の事実である。このことから、左前頭部の賦活サインは左前頭部のパワーの低下、また右前頭部の賦活サインは右前頭部の

パワーの低下として把握することができる。

運動がもたらす不安軽減と快感情は、左前頭部の相対的な賦活に反映されるという大脳機能側性仮説 (cerebral lateralization hypothesis; Hatfield & Landers, 1987) や、接近 (approach) - 撤退 (withdrawal) 行動モデルから説明されてきた (Davidson, 1984, 1992)。接近行動をもたらす快感情は左前頭部の相対的な賦活に関係し、逆に撤退行動をもたらす不快感情は右前頭部の相対的な賦活に関係するというのが、Davidson (1984, 1992) モデルの骨子である。これらの仮説やモデル構築の背景には、以下に示す臨床病理学的な観察がある。左半球の損傷は右半球の損傷に比較して、ひどい抑うつ反応をもたらす。とりわけ左前頭葉の損傷部位が、左前頭極に近ければ近いほど、抑うつ徴候はひどくなる。脳損傷で躁状態を呈した患者は、一様に右半球に病巣のある確率が高い (Robinson et al., 1984)。このように、左前頭部は快感情に、右前頭部は不快感情に深く関与することが示唆されてきた。また EEG の波を指標とした知見では、嫌悪刺激に対する右前頭部の賦活、幸せな笑いに伴う左前頭部の賦活、いやな味覚刺激に嫌悪表情を示した新生児の右前頭部賦活、などが指摘されている (Davidson, 1993a, 1993b)。

Petruzzello & Landers (1994) と Petruzzello & Tate (1997) と Petruzzello et al. (2001) は、30 min のトレッドミル運動前後に EEG と状態不安を測定し、運動後に不安軽減と左前頭部の相対的な賦活を認めた。彼らの研究と比較すると、本研究の $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 条件で、運動終了直後から回復期 60 min の各区間に認めた左前頭部のパワーには、運動後の不安軽減と快感情が反映していたものと考えられる。軽・中等度の運動強度よりも、比較的強い $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ の運動強度が、状態不安の軽減に効果的とする報告は他にもみられている (Morgan, 1985; Sime, 1977)。本実験では、運動強度の強弱には関係なく、運動終了後の回復期に持続的な不安軽減を認めた。また、リラックス感は運動強度の強弱には関係なく、運動終了後の回復期にほぼ同じ値を示した。しかしながら、運動強度が弱い快適自己ペース条件では、運動

終了直後から回復期 60 min に至るまで、前頭部の パワーには左右差を認めなかった。このことは、質問紙による自己評価と生物学的なマーカーによる EEG 評価との乖離を示唆している。本実験では、比較的強い 70 % $\dot{V}O_2$ max 運動後に生じた左前頭部の持続的賦活と不安の軽減・快感情の増加・リラックス感の発現という関係図式に、積極的な意味をみいだせたものとする。

また、本実験では田中他 (1995)を参考にして、波の帯域を 3 つに分類し、それぞれのパワー値を得た。健常成人では 8 Hz 前後の slow や 12-13 Hz の fast は出現しにくいといわれている (大熊, 1985)。従来の研究では、8-13 Hz の 帯域を一括してパワー値を求め、快感情と不快感情の偏側性をみいだしているものが多い (Davidson, 1992, 1993a, 1993b)。しかしながら、本実験では不安の軽減と快感情およびリラックス感に随伴する前頭部 EEG は、1 や 3 の帯域成分よりも、波の中心周波数である 2 帯域に求められることを明らかにした。