



Title	総説青年期女性の身体運動による情動（感情）の最適化に関する検討
Author(s)	井瀧, 千恵子; ITAKI, Chieko; 森谷, 絜 他
Citation	北海道大学大学院教育学研究科紀要, 97, 81-93
Issue Date	2005-12-20
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.97.81
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14685
Type	departmental bulletin paper
File Information	2005-97-81.pdf



総説 青年期女性の身体運動による 情動（感情）の最適化に関する検討

井 瀧 千恵子* 森 谷 繁**

Emotional Optimization by Physical Exercise among Young Females

Chieko ITAKI* Kiyoshi MORIYA**

【要旨】女性ホルモン分泌量が急激に増加する青年期女性では、性周期に伴う分泌量の周期性変動も生じる。女性ホルモンは生殖器官に対する作用以外にも種々の生理作用をもち、その一つが向精神作用で、ネガティブな感情を低減し、ポジティブな感情を高める。社会的自立をめざす20歳代女性はストレスを感じている割合が高い。身体運動はストレスを緩和しストレスサーに対処する自己効力感を高める「情動の最適化」効果をもつが、20歳代女性は身体運動でストレスに対処する割合の低いことが報告されている。身体運動を行うことで抑うつ的な感情が低減され、問題解決に積極的な感情が強化される報告が多い。一方、身体運動のやりすぎによる心身障害の報告も多いことから、快適自己ペース運動を取り上げ、中等度強度の有酸素性運動が青年期女性の感情に及ぼす効果を示し、前頭前野脳波の左右偏側性並びに血中女性ホルモン濃度の上昇からその機序について考察した。

【キーワード】青年期女性、身体運動、情動、脳波左右偏側性、女性ホルモン

1) はじめに

生物としてのヒトは外界から独立した存在であると同時に、自然環境の一部として、動的な物質の流れのなかに位置付いている。また身体的・精神的・社会的存在である人間にとって、個としての独立した世界と同時に家族・友人にはじまる人間関係は不可避である。世界一の長寿国・健康寿命国になった日本において、近代化にともなうさまざまな歪みが人々の健康や生存に影響を生じている。省力化が進んで身体活動が減少する一方で、24時間ストレス社会といわれるように、さまざまなストレス刺激（ストレスサー）に曝されることの多い生活を多くの人が送っている。

近年の日本においては、不安・抑うつなどの感情（気分）障害者の増加が著しい¹⁾。健康な人々でも、2人に1人はストレスを感じていることが明らかになっている^{2,3)}。現代社会は24時間ストレス社会といわれるように、さまざまなストレスサーに満ちあふれている。特に現代社会の

* 北海道大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学講座博士後期課程（健康科学・健康教育研究グループ）、弘前大学医学部保健学科講師

**北海道大学大学院教育学研究科健康スポーツ科学講座教授（健康科学・健康教育研究グループ）

ストレッサーは「人間関係」のような心理社会的なものであり、「慢性疲労」のような身体的なものが多い。内外からのストレッサーに曝されて生じる「ストレス状態」は、ストレッサーに適応しようとする感情や行動の構えと考えることができる。この「構え」が適応に最適なものになることが重要である。ある場合には、構えが強すぎ・緊張しすぎることによって、本来の能力を発揮したり、社会的サポートを活用できなかつたりする。また、ある場合には、自分の対処能力を低く評価することで方策を探すことを諦めてしまう。ポジティブな感情で、強い動機と自己効力感をもってストレスに対処するとき、さまざまな解決方法が手にはいることが多い⁴⁾。

情動は「喜怒哀楽」で表現されることもある精神の緊張・弛緩としての感情状態のうち、喜び・怒り・驚き・恐れなどの感情を指して用いる。表情・動作に表れやすい一過性の急激な変化で、より本能的・目的的な葛藤状態に伴う心的変化過程を意味する。客観的には皮膚電気反射・心拍数・呼吸数、血液中のカテコールアミン濃度の増大などで観察することができる⁵⁾。「情動」は「情緒」と同義的に用いられるが、脳神経生理学や行動理論において「動機づけ」と関連して用いられることが多いように、ストレッサーに適切に対処し、ストレスに適応した最適な感情状態をつくるうえで重要である。

一方、身体活動・運動・スポーツ（身体運動と総称）が骨格筋・心肺機能などの身体機能を動員すると同時に、情動に影響し、不安や抑うつのようなネガティブな感情を軽減し、快感やリラックス感のようなポジティブな感情を高めることが報告されている⁶⁾。日本でも、第47回日本体育学会（1995）運動生理学シンポジウムで、「体育・スポーツ界における運動と脳と心の課題」⁷⁾がとりあげられたように、身体運動のもたらす脳を介した心（感情、情動）へのマイナス影響とプラス効果が生理学的アプローチを含んでクローズアップされてきた。しかし、身体運動が情動にプラス効果をもたらし、マイナス影響を防ぐための方策を明らかにする研究は未だ充分ではないと考えられる。運動による脳内神経ペプチドやホルモン環境の変化は、種々のストレス反応に似ていて、中枢と末梢のカテコールアミン濃度を上昇させ、視床下部－脳下垂体前葉－副腎系を活性化し、 β -エンドルフィンの分泌を増加させる。 β -エンドルフィン拮抗阻害薬のナロキソンを充分量投与すると、運動によって引き起こされる情動の改善が認められなかったなど、運動による情動の変化に神経ペプチドやホルモンが関与する可能性が示唆されている⁸⁾。動物であるヒトにとって、身体運動というストレッサーは長い進化の過程でなじみ深いものであり、そのストレスを緩衝する生体機構はよく整備されているものと推測される。身体運動の結果、情動が快適な方向に向かう可能性である。しかしながら、現代日本では多くの人たちが運動不足気味である。

情動に対する身体運動の影響として、プラス効果をもたらし、マイナス影響を生じない運動量の目安を個々人の性・年齢・体力水準に応じて求める方法として、橋本らが提唱する⁹⁾「個人の快適感という主観をもとにした自己ペース運動」について検討を重ねてきた結果、「快適自己ペース運動は、その個人にとって、最適な生理的・心理的運動効果をもたらす低－中等度強度運動である」ことを著者らは明らかにしてきた^{10,11)}。

また、身体運動によって、末梢と中枢のホルモンや神経伝達／調整物質濃度が変化することが報告されている。しかし運動が個人の情動に影響する機構を、大脳辺縁系、脳内の神経伝達／調整物質の相互作用やホルモン、自律神経系、免疫系を含んだ全体的仕組みとして、科学的に説明できる段階には至っていない。これらのシステムが相互作用し、ストレッサーの種類や程

度に対応してホメオスタシスを維持していると考えられる。快適自己ペース運動を中心とした身体運動によって、情動が最適化される仕組みを「脳波」と「女性ホルモン」という生理指標から検討することを本総説は目的とする。

情動の最適化とは不安・抑うつなどのネガティブな感情が異常に強くなく、活気があって意欲のある自尊感情の高い状態をさして用いるが、身体運動以外にも、最適化には様々な要因が関係すると考えられる。本稿では身体運動による情動の最適化を、青年期女性という体内のホルモン環境の変化が急激であり、社会的立場においても変化が大きいために、ストレスを感じている割合の高い対象者について論じることを目的とする。

2) 女性のライフステージにおける青年期の位置づけ

人間の一生をライフステージに分けて考えることができる。青年前期第2次性徴期(思春期)に男女の性差が顕著になり、思春期に始まる青年期(平均的に女子10-12歳、男子12-14歳に始まり、24-25歳ごろまで)は身体的発達の年代であり、認知的発達、情緒的・社会的にも顕著な発達のみられる年代である。また、性アイデンティティを確立する年代にもあたる¹²⁾。妊娠・出産に備えた身体的成熟期にあたる女性の青年期は、女性ホルモンの分泌に周期性がある点で男性と異なる。女性ホルモンの生理作用として、生殖器官を発育させる作用の他にも種々の生理作用が知られており、その一つに向精神作用がある。ネガティブな感情を低減し、ポジティブな感情を高めることが報告されている^{13,14,15)}。女性ホルモンの分泌に周期性があることと関わっていると考えられているが、青年期女性の感情には性周期の時期の変化に伴う周期性変動が認められている^{16,17)}。また女性ホルモンの向精神作用によって、思春期以降に女子で自我の発達が加速されると考えられている。

身体的発達、認知的発達、情緒的・社会的にも顕著な発達のみられる年代である青年期は、生涯における心身機能の基礎作りの年代である¹⁸⁾が、誤った体型評価から食事制限を中心とした過度のダイエット志向に走りやすい状況にあり¹⁹⁾、トレーニングなどの身体運動には価値をおいていないことが多い。また、青年期女性は他の年代、男性に比較し運動習慣を有する者が最も少ない。青年期は、身体的には体格・体力ともに充実し、心身諸機能が最高に発揮できる時期である。この時期はスポーツなどの身体運動を積極的に行うことにより、体力の貯蓄ができる年代である。平成13年度体力・運動能力調査報告書²⁰⁾によると、中・高校生時代を含めた青年期に身体運動を行った経験のある者は、運動経験がない者に比較し中高年になってからの体力や運動能力が高いという結果が示されている。このことから、青年期から運動習慣を有することは重要であると考えられる。しかし平成13年度国民栄養調査²¹⁾によると、運動習慣を有する者(運動を週2回以上、1回30分以上、1年以上継続している者)は全体で28.3%と3割に満たず、20~29歳の女性は15.1%であり、性別、年代別で運動習慣を有している割合が最も低い状況にある。この傾向は平成14年度国民栄養調査²²⁾でも変わらず、男女総数で29.7%であり、女性の20歳代では13.8%と最も低い実施率であった。一方で青年期女性の痩身願望は強く、同じ年代の男性に比べると有意に痩身願望者の割合の高いことが明らかにされている²³⁾。そのためと推測されるが、食事からのエネルギー充足率は所要量を下回り100%以下である^{21,22)}。美容を目的としてエネルギー摂取量を少なくし、運動習慣を有さない状況で痩身をめざすことは健康リスクが高く、体力の貯蓄とはほど遠い状況にある。このように青年期は壮年期以降の

危険な生活習慣の出発点でもあり²⁴⁾、健康寿命を延伸させるためには、この時期から身体運動の習慣化が望ましい。

3) 青年期女性のメンタルヘルスの問題

認知的発達、情緒的・社会的発達の顕著な青年期は、「自分とは何者か」という社会における位置や役割を探る個人のアイデンティティを見いだす時期でもある。しかし、社会の価値観の多様化や社会システムの変化によりモラトリアムが延長している²⁵⁾と言われており、アイデンティティを確立できない期間が延長している。社会情勢、モラトリアムの延長などから、現代の青年期の心理状態は不安定になることが多いと推測される。「心身の健康」がテーマの2000年厚生労働省保健福祉動向調査³⁾では、最近1ヶ月間の日常生活における不満・悩み・苦勞・ストレスなど(ストレスと総称)について12歳以上の人たち3万人を対象に調査している。総数では、「ストレスが大いにある」11.8%、「ストレスが多少ある」42.4%(合計53.6%)であったのに対し、15~24歳の女性では、「ストレスが大いにある」17.2%、「ストレスが多少ある」47.3%(合計64.5%)であり、すべての性・年齢階級別にみたとき「ストレスが大いにある」「ストレスが多少ある」割合が最高であった。ストレスの原因としては、約半数が「職場や学校での人間関係」をあげており、次いで「仕事上のこと」「自由にできる時間がない」ことがあげられている。前回調査にあたる1988年厚生省保健福祉動向調査²⁶⁾では、15~24歳の女性では、「ストレスが大いにある」8.8%、「ストレスが多少ある」43.1%(合計51.9%)であったので、青年期女性のストレスを感じる割合は増加していると言えよう。ストレスの原因としては、約半数が「人との関係」をあげており、次いで「生きがい・将来のこと」「仕事上のこと」ことをあげている。これらのストレス要因の調査結果は、青年期女性の心理社会的側面の特徴と言えるかもしれない。ストレス状況が続くことで気分的に落ち込み、抑うつ状態となる危険性をはらんでいる。20歳代の健康管理の課題として、メンタルストレスへの配慮があげられている²⁷⁾。2000年保健福祉動向調査³⁾で、ストレス対処の方法としてあげられていることは、「人に話して発散する」「趣味・スポーツにうちこむ」「のんびりする」など多様だが、男性では「趣味・スポーツにうちこむ」が多いのに対し、女性では「人に話して発散する」が多い。身体運動を行うことで抑うつの感情が低減され、意欲的でポジティブな感情が強化されることが数多く報告されている^{10,28,29)}が、青年期女性では、身体活動を行うことでストレスに対処することが少ない状況にある。

4) 青年期女性の情動の最適化における身体運動の可能性

— 快適自己ペース運動との関連で —

(4-1) 身体運動が心身に及ぼす効果

身体活動量が高いことや運動を習慣的に行うことは、生活習慣病の罹患率や死亡率が低いことに加えて、メンタルヘルスや生活の質の改善に効果的であるという報告が増えてきた。身体運動を行うことの心理面への効果としては、抑うつ感情や不安感情などネガティブな感情を低減し、ポジティブな感情の強化である²⁹⁾。運動を1回行うことでストレスを低減させる効果を認めた橋本らの研究²⁸⁾や一過性の有酸素運動、無酸素運動を行った結果、不安が減少した荒井ら

の研究³⁰⁾がある。従来、心身に効果を示す運動強度として推奨されてきたのは、70～85% $\dot{V}O_2\max$ である³¹⁾が、健康づくりのために推奨される運動強度は低下する傾向にある。厚生省の「健康づくりのための運動所要量」では、50% $\dot{V}O_2\max$ 相当の強度で10分間継続し、1日に20分以上行うことを奨めている。運動強度と心理的効果の関係では、軽い運動では効果がなく、中等度強度あるいはそれ以上の運動強度が必要であると言われている。しかし、強度が強すぎると運動に対して嫌悪感を持つことも予測される。特に運動習慣を有していない者や非鍛錬者などにとって運動は苦痛となることもある。そこで、橋本らは「快適自己ペース」という主観的に「快」を感じる運動強度を用いている⁹⁾が、この考えはTusonら³²⁾によっても支持されている。快適自己ペース走とは「苦痛感を伴わないこと」、「最も快適と思うペースで走ること」、「5分以内でペースをつかみ残り10分間をそのペースで走ること」としている。従来の70～85% $\dot{V}O_2\max$ より運動強度が低くてもストレスは低減し、爽快感や終了後のリラックス感を得ることができる。また、荒井らは主観的運動強度（rating of perceived exertion：RPE）を用い、RPE 13の「ややきつい」を目標として20分間自転車エルゴメータを漕ぐ有酸素運動と油圧式トレーニングマシンを用いて上半身・下半身を併せて約20分間のトレーニング（ストレンジ・エクササイズ）である無酸素性運動を行かせた³³⁾。有酸素運動、無酸素運動の双方で不安の減少が認められ、さらに快感情や高揚感、落ち着き感の上昇、否定的感情の低下を明らかにした。これらに共通して言えることは、中等度強度程度の運動強度で十分にメンタルヘル스에効果的に働くということである。また、10～20分の運動でネガティブな感情の減少やポジティブな感情の上昇、さらに終了後にリラックス感や落ち着き感なども得られることは、運動を習慣化させるための重要なポイントとなる。

運動は、生理機能すべてを動員する総合的な働きによっており、その影響は身体全体に及んでいる³⁴⁾。定期的な運動の効果としてあげられることは、血中コレステロールや中性脂肪の改善、高血圧への効果、骨粗鬆症予防の効果など生活習慣病の予防である。さらに、心肺機能の向上、筋力維持増進、体力の向上などが死亡率低下に影響を及ぼすことも報告されており、定期的な運動は寿命を延伸させる可能性を持っている。

(4-2) 快適自己ペース運動による心身への効果

(4-1)に記述したように、身体運動は心身に効果をもたらす。その効果を短時間で終了させるのではなく、継続させることで適応が生じ、健康づくりに有用になる。そのための要因の一つが運動強度である。従来、心身に効果を示す運動強度として推奨されてきたのは、70～85% $\dot{V}O_2\max$ である³¹⁾が、この運動強度はRPEで示すと14～16に相当し、「きつい」と評価される。そのため、効果があると言われていても、運動習慣のない老若男女が運動を習慣化するために取り組むには困難が多いと考えられる。アメリカスポーツ医学会でも公衆衛生的見地から50% $\dot{V}O_2\max$ 未満の身体活動に注目し、日本でも「健康づくりのための運動所要量」では、50% $\dot{V}O_2\max$ 相当の強度で10分間継続し、1日に20分以上行うことを奨めている。きつすぎない低～中等度強度の有酸素性運動は、生活に取り入れやすいと考えられる。これまで運動の有益性に着目し、心血管系疾患の死亡率の低下、高血圧、肥満、大腸がん、2型糖尿病および骨粗鬆症の発生率を低下させるために、個人にとっては運動強度が高くても運動の必要性を優先させてきた。しかし、そこでは体力の低い人に注目していなかった。不活動の人、体力の低い人が身体活動量を増やすことで、体力を向上させ、慢性疾患のリスク低下に対しても有効で

ある可能性が示されている。従って、運動強度が70~85% $\dot{V}O_{2max}$ と高くなくても、身体的な効果をもたらすと考えられる。また、高強度の運動に伴う危険性としては、運動による心筋の負担増加により、潜在的な心疾患患者の事故が引き起こされる可能性が指摘されている。運動に関連した合併症を予防する上でも、運動強度が低-中等度強度の運動を推奨すべきである³⁵⁾とされている。

そこで、運動強度が低-中等度の運動の心理面への影響をみると、抑うつ感や不安感などのネガティブな感情が改善され、ポジティブな感情を高める効果が報告されている。これまでに徳永ら^{36,37)}は、運動後に得られる爽快感に着目し、心理的效果を高めるための運動のしかたについて報告している。運動強度がある程度高い方が快感情は上昇するが、これには運動を行った時の欲求の充足度、達成感、満足度、充実感などの心理状態の併発が関与すると考えられている。橋本ら^{28,32)}は、個人が選べる至適運動強度で行う快適自己ペース走 (comfortable self-paced running, 以下 CSPR) を推奨している。運動の心理的效果は指定された強度で運動をやらされているときではなく、自分の意思でやっているときに大きく現れると推察している。個人の体力やその日の体調にあわせて運動強度を選択できることは、「やらされている」感が少なく、運動強度が指定されているほどに強くなくても感情には効果があると考えられる。運動中に得られた心理的效果は、その後運動に取り組む際に、動機を高めるようにポジティブに働きかける可能性がある。実際、CSPR や走運動以外の多様な運動による快適自己ペース運動 (comfortable self-paced exercise, 以下 CSPE) で様々な心身効果が明らかにされてきた^{38,39)}。

月経周期が安定している20歳代(平均年齢21歳)の女性12名に対して50分間のCSPR(平均心拍予備率 59.6 ± 5.8 (SEM)%、平均RPE 12.0 ± 1.4 で中等度強度と考えられる)を負荷した実験での感情の変化は、標準化された質問紙Profile of Mood State (POMS)による測定で、CSPR前に比べてCSPR後の「抑うつ-落ち込み」得点は有意に低下し、「活気」得点有意に上昇し、プロフィールは氷山型を示した。50分間の対照安静後に、「疲労」得点有意に低下したが、他の下位尺度では有意な変化は認められなかった。CSPR後の得点から描いたプロフィール以外は氷山型を示さず平坦であった(図1)。他の標準化された質問紙Mood Check List- Short Form 1 (MCL-S.1)による感情の測定では、MCL-S.1の下位尺度のうち「快感情」得点はCSPR開始前に比べ、CSPR中、CSPR終了後に有意に上昇した。また、条件間に有意差が認められ、CSPR日の快感情得点は対照日に比べ有意に高かった。CSPR終了後30分では「快感情」得点は低下したが、対照日と比較して高く維持されていた。「リラックス感」得点はCSPR中に低下したが、CSPR中に比べ、CSPR後に有意に上昇した。また、条件間に有意差が認められ、CSPR日のリラックス感得点は対照日の値より有意に低かった(表1)。この実験での運動強度を%HRRで求めたところ60%程度であり、RPEは12前後であった。快適なペースで運動するように指示することで、個人の体力にあわせた運動強度を選択することが可能であり、さらに十分な運動強度での運動を行うことができると推察される。このことから運動強度の一つとして、「快適自己ペース」として選択される無理のない低-中程度強度の有酸素性運動が運動処方として活用できる可能性が示唆される。

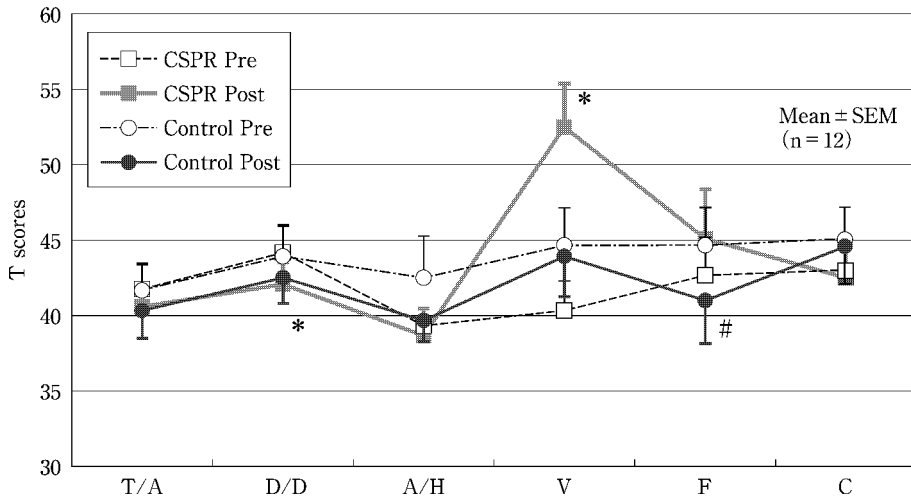


図1 青年期女性（黄体期）のCSPR（対照安静）によるPOMS得点の変化
 * : p<0.05 vs. CSPR Pre # : p<0.05 vs. Control Pre (文献38から引用)
 POMS: Profile of mood state
 CSPR: Comfortable Self-Paced Running (快適自己ペース走)
 T/A: 緊張・不安 D/D: 抑うつ・落ち込み A/H: 怒り・敵意
 V: 活気 F: 疲労 C: 混乱

表1 青年期女性（黄体期）のCSPR（対照安静）によるMCL-S.1得点の変化

得点	Group	前値(0 min)	CSPR (対照安静)					回復 30 min	反復測定 ANOVA による p 値		
			10 min	20 min	30 min	40 min	50 min		CSPR vs.対照安静	時間	交互作用
Pleasantness (快感情)	CSPR	-2.0(1.1)	3.9(0.9)**	3.9(0.8)**	4.8(0.7)**	4.8(0.9)**	6.6(0.9)**	3.3(1.5)**	0.008	0.000	0.000
	Control	-0.4(1.1)	0.3(1.0)	0.9(1.0)	0.3(1.1)	0.1(1.2)	-0.3(1.6)	-1.0(1.5)			
Relaxation (リラックス感)	CSPR	4.8(1.3)	2.3(1.2)*	0.9(1.2)*	1.3(1.6)*	2.0(1.4)*	2.8(1.4)*	7.3(0.7)	0.002	0.011	0.000
	Control	6.1(1.0)	7.3(0.8)	7.5(0.8)	7.8(0.8)	7.9(0.7)	8.0(0.7)	6.4(1.1)			
Anxiety (不安感)	CSPR	-3.4(0.8)	-4.0(0.7)	-3.9(0.7)	-4.2(0.6)	-4.2(0.6)	-4.6(0.5)	-4.8(0.4)	0.860	0.080	0.176
	Control	-3.8(0.5)	-4.2(0.5)	-3.6(0.7)	-4.3(0.6)	-4.3(0.6)	-4.2(0.6)	-3.8(0.7)			

Mean (SEM), n=12 (文献38から引用)

* : p<0.05 (vs. Control) by paired t-test

: p<0.05 (vs. PRE) by paired t-test

MCL-S.1: Mood Check List-Short Form 1

CSPR: Comfortable Self-Paced Running (快適自己ペース走)

5) 情動（感情）の最適化と脳機能

(5-1) 脳波からの検討 — 運動を行うことによる脳波への影響 —

脳波の左右偏側性が感情に影響している可能性があることが報告されている⁴⁰⁾。頭皮表面から非侵襲的な手段で記録した前頭前野の電気信号である脳波の非対称性を測定することで、情動プロセスを推論することは Davidson らの論文(1979)⁴¹⁾ に出発した。前頭前野 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、当該部位の賦活が α 帯域パワー値の減衰によって推定されている。Davidson のモデル⁴²⁾ では、左前頭前野の賦活 (α 帯域パワー値の減衰) は快感情を誘引し、接近 (approach) 行動をもたらす。逆に右前頭前野の賦活は不快感情を引き起こし、撤退 (withdrawal) 行動と関係すると提唱されている。前頭部 EEG

の非対称性による接近／回避モデルは、Coanら(2001)⁴³⁾やその他の論文によって支持されている。

Davidsonらの論文発表(1979)⁴¹⁾以降、左右前頭前野由来の脳波の非対称性を測定する方法論の様々な面について研究が行われ、その信頼性・妥当性を明らかにする多数の論文が報告されてきた⁴⁴⁾。情動(感情)のプロセスにおいて、霊長類の前頭前野がどのような固有の役割を持つのかは未だ解明されていない課題であり、前頭前野は単一の組織から成り立ってはいくわけではなく異質の組織の集合体である。また、脳が情動・動機付けプロセスを実行する上で、前頭前野だけが単独に関与しているのではなく統合的なシステムを考慮する必要があるが、情動や動機付けプロセスのあらゆる側面において、前頭前野は主要な領域であると考えられている。前頭前野は、より複雑な回路の一部であって、回路内の他の皮質・皮質下領域もまた重要な要素であるが、頭皮で記録されたEEGは主に皮質からの活動を反映するので、皮質下の信号については十分に推論を行うことができない。

前頭前野EEGの非対称性(安静時も課題遂行時も含めて)は、①情動刺激に対する反応の素因的傾向と②課題遂行時の情動変化の両方に関与するが、本総説では身体運動による情動の状態変化との関連から、②「情動の状態変化の過程を検討した論文」を対象にした。

解剖学的なニューロン接続パターンを検討すると、前頭前野領域から出たニューロンの主な標的は扁桃体である。この解剖学的な配置に基づいて、複数の研究者が、前頭前野のうち少なくとも特定の領域が持つ機能の一つは、扁桃体の活性化を調節ないし抑制することではないかと推測している。Davidson(2000/2002)^{45,46)}は、特に左前頭前野の領域が扁桃体抑制に重要な役割を果たしている可能性があるとし唆している。実験動物で得られた新しいデータも、この見解と概ね一致している。Quirkら⁴⁷⁾は、齧歯類における前頭前野内側領域に刺激を与えると、扁桃体中心核の出力ニューロンの反応性が低下することを示した。齧歯類の結果をヒト前頭前野に一般化して適用するには注意しなければならないが、情動関連回路の機能的意義を理解するには、前頭前野の特定領域と扁桃体には負の相関のあることが重要である。Ochsnerら⁴⁸⁾は、被験者に自分の否定的な情動を自発的に抑制するよう要求したが、その際前頭前野の左腹外側領域および扁桃体の活性化の間には負の相関関係が認められたことを報告している。

身体運動による脳波の左右偏側性と感情についての研究は限られた数ではあるが報告されている^{49,50,51,52,53)}。上述したように、身体運動は快感情のようなポジティブな感情を強め、抑うつ感・不安感のようなネガティブな感情を低減させる。このような感情の状態変化を引き起こす脳内メカニズムの一端として、脳波の左右偏側性に注目している。

(5-2) 女性ホルモン；エストラジオール濃度からの検討

— 運動を行うことによるエストラジオール濃度の変化 —

思春期以降の成熟期にある女性では、性周期に伴って女性ホルモン(卵胞ホルモン；エストロゲン、黄体ホルモン；プロゲステロン)の分泌量に変化し、その変化は心身に様々な影響を及ぼす¹⁶⁾。女性ホルモンの合成と分泌は視床下部一下垂体前葉一卵巢系で制御されているが、卵巢の成熟卵胞から分泌されるエストロゲンのなかで、エストラジオール(E2)は量的に最大であり、ホルモン作用も他のエストロゲンより強い。プロゲステロン(P)は排卵によって成熟卵胞から生じた黄体で合成・分泌され、黄体期に血中濃度が高く、黄体の退縮とともに低下する⁵⁴⁾。

女性ホルモンE2は、生殖器官に対する作用の他にも種々の生理作用を有しているが、その一

つに向精神作用があり、抑うつ感のようなネガティブな感情を低減し、快感情のようなポジティブな感情を高めることが報告されている^{13,14,15}。血中 E2 濃度が低下する閉経前後の症状として、うつ病を含む軽症うつが知られ、これらに対してエストロゲン補充療法が有効であるという報告が多い^{55,56}。最近、オーストラリアで行われた高齢女性を対象にした横断的疫学調査から、E2 血中濃度の高い 70 歳代女性は低い女性に比べて、抑うつ感情の低いことが明らかになっている⁵⁷。

一方、身体運動によって血中 E2 濃度の上昇することが報告されている^{58,59,60} が、無酸素性作業閾値 (AnT) を超えるような高強度運動またはレジスタンス運動の効果の検討である。Bonera⁵⁸ によると、 $\dot{V}O_2\max$ の平均 74% という高強度運動を 30 分間実施した時、卵胞期と黄体期で血中 E2、P 濃度が有意に上昇し、卵胞刺激ホルモン (FSH) と黄体形成ホルモン (LH) 濃度は変化しなかった。Consitt⁵⁹ は、平均年齢 33 歳の女性対象者に、75%HRmax で約 40 分間の持久的運動と下肢のレジスタンス運動を行わせた結果、両運動の直後に血中 E2、P 濃度の上昇を観察している。Kraemer⁶⁰ は、低強度レジスタンス運動によって、運動直後に血中 E2、P 濃度の上昇を観察したが、卵胞期より黄体期に反応が大きかったと報告している。

著者らは、快適自己ペースの走運動 (CSPR) を選び、青年期女性の CSPR 実施が血中女性ホルモン濃度と感情にどのような影響をもたらすかを検討した³⁹。その際、性周期の違いによる女性ホルモン濃度の影響を可及的に一定にするため、黄体期を対象とした。50 分間の CSPR (平均心拍予備率は $59.6 \pm 5.8\%$ を示した) によって E2 血中濃度の上昇が認められた。性周期に伴う性ホルモン環境の変化から CSPR の効果も異なることが予測される青年期女性で、性周期を黄体期に揃えて E2 濃度の上昇が示された (表 2)。上記研究の CSPR (対照安静) 前値と後値を比べた E2 濃度変化量と、標準化された質問紙 POMS で測定した活気得点変化量の間に正の相関が見られ、MCL-S.1 快感情得点変化量との間にも正の相関が見られたことから、E2 にポジティブ感情を強め、ネガティブ感情を低減させる効果があるという従来の報告と矛盾のないものと考えられる。主観的「快」に基づいて運動強度を選択した 50 分間の CSPR 実施によって、E2 の血中濃度が上昇した。運動による性ホルモン分泌の増加は、視床下部一下垂体前葉一性腺系の中で、中枢性の変化を反映している可能性とカテコールアミン濃度の増加に刺激されて性腺で性ホルモン合成・分泌が増加する機序の複合している可能性が報告されている^{61,62}。性ホルモン分泌の増加はネガティブフィードバックによって、視床下部や脳下垂体前葉からのホルモン分泌を抑制するため、中枢性か否かを評価するためには、運動開始直後からの短い時間間隔での視床下部ホルモン、脳下垂体前葉ホルモン、性ホルモン濃度の継時的測定が必要で

表 2 青年期女性 (黄体期) の CSPR (対照安静) による血中女性ホルモン濃度の変化

測定項目	Group	前値	CSPR(対照安静)後値	反復測定 ANOVA による p 値		
				CSPR vs.対照安静	時間	交互作用
Estradiol (E2) (pg/ml)	CSPR	65.3(9.5)*	79.6(10.4)*	0.177	0.020	0.023
	対照安静	91.1(10.2)	91.2(8.3)			
Progesterone (P) (ng/ml)	CSPR	3.68(1.2)	3.63(1.1)	0.893	0.951	0.758
	対照安静	3.87(1.2)	3.90(1.2)			

Mean (SEM), n=11

(文献 39 から引用)

* : p<0.05 (vs. Control) by paired t-test

: p<0.05 (vs. PRE) by paired t-test

CSPR: Comfortable Self-Paced Running (快適自己ペース走)

ある。また、運動によって β -エンドルフィン合成は増大するが、このホルモンが性腺に作用して、エストロゲンの合成と分泌を促進する可能性も報告されている⁶³⁾。E2が脳内でセロトニンレベルを上昇させる⁶⁴⁾のに対し、Pはセロトニンレベルを低下させる⁶⁵⁾と報告されている。脳内セロトニンはポジティブな感情に関係すると考えられている⁶⁶⁾ことから、感情の改善という立場でみると、E2とPの両者が増大するAnTを越えるような高強度運動よりも、E2のみを上昇させるCSPRのような低-中等度強度の運動の方が心身にとって健康的な効果を与えるのではないかと考えられるが、今後さらに検討が必要である。

また、E2は身体運動による脳由来神経栄養因子 (brain-derived neurotrophic factor : BDNF) の生成を高めることが明らかになっている⁶⁷⁾。身体運動によるBDNFの増加が学習や記憶の部位である海馬でみられ、E2のある状態で発現する。その結果、BDNFや他の分子が増加することにより、脳内のニューロン構造を強め、シナプス伝達を促進するなど、脳の可塑性が高まり、ストレス抵抗性が強められると考えられる。このように、E2の脳内作用は他のホルモン・神経伝達物質・修飾物質と相互作用している可能性が残る。

6) おわりに

身体運動による情動 (感情) の最適化について、運動強度の違いを含め、文献検討を行った。これまでの研究結果では、運動強度の高い身体運動が効果をもたらすという報告が多い。しかし、近年になって、低-中等度強度の運動が注目され、快適自己ペース運動での効果を検討する研究も徐々に増えている。これらの検討から、快適自己ペース運動が情動 (感情) に及ぼす影響が、標準化された質問紙による感情の測定に加え、脳を中心とした神経性の機序、ホルモンや神経伝達物質などの液性機序、それらの統合的な機序としてやがて明らかにされてくものと考えられる。その中で、われわれは、①快適自己ペース運動による左前頭前野の賦活が快感情を誘引し接近行動 (運動を好ましく捉える) をもたらし、逆に右前頭前野の賦活が撤退行動と関係するという前頭部 EEG の非対称性による接近/回避モデルから検討する、②青年期女性の快適自己ペース運動による女性ホルモン (特にエストラジオール) の分泌量の変化から検討したいと考えている。青年期女性では性周期があり、周期的に女性ホルモン分泌量 (血中濃度) に違いを生じる。女性ホルモンは情動に影響を及ぼすため、青年期女性を対象にして情動に関する実験を行うことは従来多くはなかった。心身の発達期にあり、悩み・ストレスの多い年代である青年期女性を対象にして、性周期を黄体期や卵胞期に揃えた状態で、身体運動がストレスを解消し、情動を最適化する機序を明らかにする研究の意義は大きいと考える。

[引用文献]

- (1) 厚生統計協会 (2004) 疾病別総患者数の年次推移 — 平成5・8・11・14年患者調査から —. 厚生 の指標, 臨時増刊, 51, 24-31
- (2) 厚生省 (1988) 保健福祉動向調査. 厚生統計協会, 東京
- (3) 厚生労働省 (2000) 保健福祉動向調査. 厚生労働省 HP (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/hftyosa/>) (2005.9.28)
- (4) Brown, BB (橋口英俊他訳) (1983) スーパーマインド, 紀伊国屋書店, 東京
- (5) 河野友信・田中正敏編 (1986) ストレスの科学と健康. 朝倉書店, 東京
- (6) International Society of Sport Psychology (1992) Physical activity and psychological benefit: A

- position statement. *Int Soc Sport Psychol*, 23, 86-91
- (7) 運動生理学会専門分科会（1995）運動と脳と心，第46回日本体育学会大会号，95-99
 - (8) 森谷繁（1997）スポーツと情動，伊藤真次他編 情動とホルモン，295-310 中山書店，東京
 - (9) 橋本公雄，斎藤篤司，徳永幹雄，高柳茂美，瀧豊樹（1994）快適自己ペース走の再現性の検討，*健康科学*，16，57-64
 - (10) 渡辺明日香，小田史郎，佐美靖，森谷繁（2001）50分間の快適自己ペース走時の気分変化，*北海道体育学研究*，36，70
 - (11) 井瀧千恵子，森谷繁，小田史郎，大塚吉則，武田秀勝（2003）青年期女性の快適自己ペース走が感情と血中ホルモン濃度に及ぼす影響，*体力科学*，52，330
 - (12) 上田礼子（1996）生涯人間発達学，173-193 三輪書店，東京
 - (13) Dalla C, Antoniou K, Papadoulou-Daifoti Z, Balthazart J and Bakker J (2004) Oestrogen-deficient female aromatase knockout (ArKO) mice exhibit depressive-like symptomatology. *Eur J Neurosci*, 20, 217-228
 - (14) Herzog A G (1999) Psychoneuroendocrine aspects of temporolimbic epilepsy. Part 1. Brain, reproductive steroids, and emotions. *Psychosomatics*, 40, 95-101
 - (15) Rocha, BA, Fleischer, R, James M. Schaeffer, JM, Rohrer, PR, Hickey, GJ (2005) 17-Estradiol-induced antidepressant-like effect in the Forced Swim Test is absent in estrogen receptor-knockout (BERKO) mice. *Psychopharmacology*, 179, 637-643
 - (16) 品川信良（1994）女性の健康のためのエコロジー．現代女性の健康の増進と病気予防のために，からの科学（増刊）「女性の病氣」，2-10
 - (17) 森谷繁（1998）女性の防衛体力の特性——健康づくりの観点から——，*北海道大学教育学部紀要*，75，121-138
 - (18) 宮本朋子，久楚真由美，藤山文乃（1995）女性のライフステージからみた身体運動と健康，宮下充正（監）女性の成熟と老化，120-151，杏林書店，東京
 - (19) 高橋英子，山田正二，大柳俊夫，山口明彦，武田秀勝，山田恵子（2002）青年期男女学生の体型別痩せ志向と食生活に関する意識調査，*札幌医科大学保健医療学部紀要*，5，9-17
 - (20) 文部科学省スポーツ・青年局（2002）平成13年度体力・運動能力調査報告書，1-265
 - (21) 健康・栄養情報研究会編（2003）国民栄養の現状（平成13年度厚生労働省国民栄養調査結果），1-234，第一出版，東京
 - (22) 健康・栄養情報研究会（2004）国民栄養の現状（平成14年度厚生労働省国民栄養調査結果），1-236，第一出版，東京
 - (23) 山口明彦，森田勲，武田秀勝（2000）痩せ願望青年期女子学生の「美容」か「健康」かの志向の違いによる体型および減量法に関する意識について，*学校保健研究*，42，185-195
 - (24) 健康日本21企画検討会・健康日本21計画策定検討会（2000）健康日本21（21世紀における国民健康づくり運動について），健康日本21企画検討会・健康日本21計画策定検討会報告書，91-101，財団法人健康・体力づくり事業財団，東京
 - (25) 岡部聡子（2005）II成人看護学の特性，成人看護学概論（大西和子，岡部聡子編），17-32，ヌーベルヒロカワ，東京
 - (26) 厚生省大臣官房統計情報部会（1990）保健福祉動向調査（心身の健康），厚生統計協会
 - (27) 小西明美（2005）女性向け検診・性差や年代で選択を，*北海道新聞* 2005年8月10日朝刊
 - (28) 橋本公雄，斎藤篤司，徳永幹雄，磯貝浩久，高柳茂美（1991）運動によるストレス低減効果に関する研究（2）一過性の快適自己ペース走による感情の変化，*健康科学*，13，1-7
 - (29) International Society of Sport Psychology (1992) Physical activity and psychological benefit: A position statement. *Int Soc Sport Psychol*, 23, 86-91
 - (30) 荒井弘和，中村菜々子，竹中晃二，岡浩一朗（2002）一過性運動と不安の減少 状態不安評価における心理測定学交絡，*ストレス科学*，16(4)，241-25
 - (31) アメリカスポーツ医学会編，日本体力医学会体力科学編集委員会監訳（2001）運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム原著第6版，第7章運動処方の一般的な原則，134-163，南江堂，東京

- (32) Tuson, KM, Sinyor, D, Pelletier, LG (1995) Acute exercise and positive affect: an investigation of psychological processes leading to affective change. *International J Sports Psychology*, 26, 138-159
- (33) 荒井弘和, 竹中晃二, 岡浩一朗, 堤俊彦 (2002) 一過性のストレング・エクササイズが感情に与える影響 — サイクリングに伴う経時変化との比較 —. *スポーツ心理学研究*, 29(1), 21-29
- (34) 中野昭一 (2001) 運動の仕組みと応用 (普及版), 10-11, 中野編著, 医歯薬出版, 東京
- (35) アメリカスポーツ医学会編 (2001) 運動処方指針第1章運動の有益性と危険性. 2-20, 南江堂, 東京
- (36) 徳永幹雄, 橋本公雄, 磯貝浩久, 高柳茂美 (1992) 運動の爽快感とその規定要因(1). *健康科学*, 14, 9-17
- (37) 徳永幹雄, 橋本公雄, 高柳茂美 (1994) 運動の爽快感とその規定要因(2). *健康科学*, 16, 74-85
- (38) 井瀧千恵子, 門間正子, 小田史郎, 武田秀勝, 森谷黎 (2003) 青年期女性における快適自己ペース走が感情に及ぼす影響とその関連要因. *北海道大学大学院教育学研究科紀要*, 88, 235-246
- (39) 井瀧千恵子, 森谷黎, 小田史郎, 武田秀勝 (2005) 青年期女性の黄体期における快適自己ペース運動は血中エストロジオール濃度を上昇させ感情を改善する. *日本運動生理学雑誌*, (印刷中)
- (40) Davidson, RJ (2004) What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67, 219-233
- (41) Davidson, RJ, Schwartz, GE, Saron, C, Bennett, J and Goleman, DJ, (1979) Frontal versus parietal EEG asymmetry during positive and negative affect. *Psychophysiology*, 16, 202-203
- (42) Davidson, RJ (1992) Emotion and affective style: hemispheric substrates. *Psychological Science*, 3, 39-43
- (43) Coan, JA, Allen, JJB, Harmon-Jones, E (2001) Voluntary facial expression and hemispheric asymmetry over the frontal cortex. *Psychophysiology* 38, 912-925
- (44) Coan, JA and Allen JJB (2004) Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology*, 67, 7-49
- (45) Davidson, RJ (2000) Affective style, psychopathology, and resilience: brain mechanisms and plasticity. *American Psychologist*, 55, 1196-1214
- (46) Davidson (2002) Anxiety and affective style: role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry*, 51, 68-80
- (47) Quirk GJ, Likhtik, E, Pelletier, JG and Pare, D (2003) Stimulation of medial prefrontal cortex decreases the responsiveness of central amygdala output neurons. *Journal of Neuroscience*, 23, 8800-8807
- (48) Ochsner KN, Bunge, SA, Gross, JJ and Gabrieli, JD (2002) Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1215-1229
- (49) Sarbadhikari, SN, Chakrabarty, K (2001) Chaos in the brain: a short review alluding to epilepsy, depression, exercise and lateralization. *Medical Engineering & Physics*, 23(7), 447-455
- (50) Petruzzello, SJ, Landers, DM (1994) State anxiety reduction and exercise: does hemispheric activation reflect such changes? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1028-1035
- (51) Petruzzello, SJ, Landers, DM (1997) Brain activation, affect, and aerobic exercise: an examination of both state-dependent relationships. *Psychophysiology*, 34, 527-533.
- (52) Petruzzello, SJ, Hall, EE, Ekkekakis, P (2001) Regional brain activation as a biological marker of affective responsivity to acute exercise: influence of fitness. *Psychophysiology*, 38, 99-106
- (53) 本多麻子, 正木宏明, 山崎勝男 (2001) 強度の異なる運動が感情と脳波の偏側性に及ぼす効果. *生理心理学と精神生理学*, 19, 217-225
- (54) 真島英信 (1976) 生殖(B)女性. *生理学*, 493-501, 文光堂, 東京
- (55) Soares CN, Almeida OP, Joffe H, Cohen LS. (2001) Efficacy of estradiol for the treatment of depressive disorders in perimenopausal women: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Arch Gen Psychiatry*; 58, 529-534
- (56) Soares CN, Poitras JR, Prouty J (2003) Effect of reproductive hormones and selective estrogen receptor modulators on mood during menopause. *Drugs Aging*, 20, 85-100

- (57) Almeida OP, Lautenschlager N, Vasikaram, S, Leedman, P and Flicker, L. (2005) Association Between Physiological Serum Concentration of Estrogen and the Mental Health of Community-Dwelling Postmenopausal Women Age 70 Years and Over. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 13(2), 142-149
- (58) Bonen A, Ling W Y, MacIntyre K P, Neil R, McGrail J C and Belcastro A N (1979) Effects of exercise on the serum concentrations of FSH, LH, Progesterone, and Estradiol. *Eur J Appl Physiol*, 42, 15-23
- (59) Consitt L A, Copeland J L and Tremblay, M S (2001) Hormone responses to resistance vs. endurance exercise in premenopausal females. *Can J Appl Physiol*, 26, 574-587
- (60) Kraemer R R, Heleniak R J, Tryniecki J L, Kraemer G R, Okazaki N J and Castracane V D (1995) Follicular and luteal phase hormonal response to low-volume resistive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 809-817
- (61) 宮地幸隆 (1992) 運動とホルモン. *からだの科学*, 163, 70-75
- (62) Cumming D C, Brunsting L A 3rd, Strich G, Ries A L and Rebar R W (1986) Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med Sci Sports Exerc*, 18, 369-73
- (63) Harber V J and Sutton J R (1984) Endorphins and exercise. *Sports Medicine*, 1, 154-71
- (64) Chakravorty S G and Halbreich U (1997) The influence of estrogen on monoamine oxidase activity. *Psychopharmacol Bull*, 33, 229-233
- (65) Sherwin B (1996) Hormones, mood, and cognitive functioning in postmenopausal women. *Obstet Gynecol*, 82 (suppl), 20s-26s
- (66) Liechti M E, Saur M R, Gamma A, Hell D and Vollenweider F X (2000) Psychological and physiological effects of MDMA ("Ecstasy") after pretreatment with the 5-HT(2) antagonist ketanserin in healthy humans. *Neuropsychopharmacology*, 23, 396-404
- (67) Cotman, C W, and Berchtold N C (2002) Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *TRENDS in Neurosciences*, 25(6), 295-301