

運動時の自律神経と情動反応

新潟大学・山崎 健

感性的認識と理性的認識

「感性」という定義は生理学的には存在せず、「感覚」により統合された高次脳機能の一つと考えることができる。

ルビンシュテイン⁵⁾は、「世界の感性的認識としての知覚」という概念で抽象的認識の感性的段階と論理的または理性的段階を「単一の過程」と規定し、また、ロシアの著名な生理学者・パブロフ³⁾は、言語によるシンボルの抽象性を、動物と共通の感覚による「第一信号系」と区分して「第二信号系」と規定した。

柘植⁹⁾は、行動の発達過程について、1)神経系に支配されない行動、すなわち神経系を欠く動物、2)第一信号系によって支配される行動、すなわち腔腸動物から類人猿、3)第一と第二信号系によって支配される行動、すなわち人間、と区分し、第三段階において随意的 (voluntary) と意志的 (volitional) な運動が混在していることから、その両者の相違を解明してゆくことが精神病理学的に重要であることを指摘している。

ソコロフ⁸⁾は、聞き取りからの暗算の思考過程を検討し、言語運動筋群の筋電図に tonic と phasic の二つの成分があることを報告し、前者を比較的圧縮 (減衰) された内的言語、後者を比較的展開された (語の顕在的あるいは潜在的発音過程自体) 内的言語に対応するものと規定している。そして phasic な成分は「困難な課題解決時」に tonic な成分に重畳して発現し、簡単な計算時には tonic な背景水準を越えて顕在化することはないと報告している。

山崎^{10) 11)}は、随意運動における

voluntary-volitional loop による制御という、感覚性制御と言語性制御との2つの成分とその相互移行性の存在を指摘し、「運動習熟」の概念に関わって、プーニ⁷⁾の指摘する「特殊な意識状態」に相当する可能性を指摘した。

この点で、身体運動に関連した感性的「認識」は、前言語的で未発達な感性的段階とは異なり、理性的認識へと至った段階での運動習熟における感覚性 - 言語性制御に対応した「非言語的」な「特殊な意識状態」を反映するものと考えることができる。

情動反応と自律神経反応

感性的認識の「非言語的段階」での身体運動に関わる重要な因子に自律神経反応がある。自律神経系反応は、呼吸・循環・消化・内分泌機能等に関連しており、呼吸以外は「意識的制御」は困難とされ、運動時のエネルギー生産にも密接に関連している。

また、感覚系からの入力情報は、上行性に大脳皮質感覚野に行くとともに、いわゆる「辺縁系」に伝達されて情動反応を引き起こすといわれている。この辺縁系のうち「帯状回」は意欲に関係し、「扁桃体」は快・不快に、「海馬」は記憶に対応し、扁桃体と海馬は感覚系からの入力を受けており、小野⁶⁾は、前頭前野や扁桃体、海馬のニューロンが情動と記憶をつなぐ重要な役割を果たしていることを指摘している。また、大脳皮質の30%を占める前頭連合野は、思考・学習・推論・意欲・感情等の機能にかかわっており、人間の情動反応はきわめて高次な脳機能として統合されている。

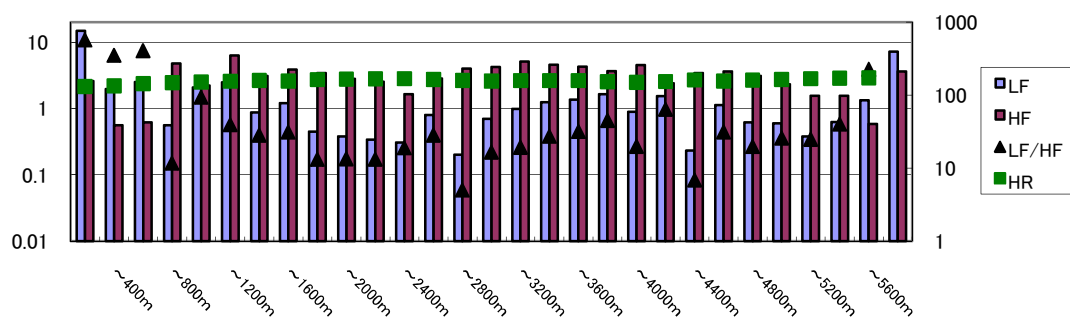
自律神経活動と瞬時心拍変動

1981 年 Akselrod ら¹⁾によって記録されたイヌの瞬時心拍変動のスペクトル解析結果は、自律神経系によって影響されている一拍ごとの心拍ゆらぎ (R-R 間隔) を定量的に明らかにする可能性を示した点で画期的であった。

心拍ゆらぎのスペクトル解析と自律神経系遮断薬 (PROPRANOLOL や ATROPIN) 投与によるピークスペクトルの変化との関連から、現在、VLF 成分 (0.05Hz 付近) は体温調節性の影響を、LF 成分 (0.1Hz 付近) は血圧のフィードバック調節機構の影響で交感神経活動と心臓迷走神経活動 (副交感神経活動と関連) を、HF 成分 (0.3Hz 付近) は呼吸

周期の影響で心臓迷走神経活動、LF/HF 比は交感神経活動を反映すると考えられている²⁾。⁴⁾

山崎ら^{12) 13)}は、自転車ペダリングやランニングというリズムカルで持続的な運動実施時の瞬時心拍変動を検討し、心拍数 (R-R 間隔) の変動以上に瞬時心拍変動のスペクトルが大きく変動していることを報告した。そして、運動遂行中の「爽快感」「充実感」といった内省報告との関連から、この各周波数スペクトルの変動と主観的運動強度 (RPE) やエネルギー生産に関わる糖動員性との関連について検討している。



6000mランニング中のペース変化前後の瞬時心拍スペクトルの変化

6

<文献>

1. Akselrod S, et al.: Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of heart-to-beat cardiovascular control, Science 213 (1981), pp.220-222
2. 早野順一郎、心拍ゆらぎと自律神経、Therapeutic Research Vol.17(1)、1991年、pp.163-233
3. A・G・イワノフ＝スモレンスキー：東大ソ医研訳、パブロフ選集(下)、合同出版、1962年、pp.643-703
4. 亀谷 学、自律神経評価法、臨床スポーツ医学 Vol.9(8)、1992年、pp.854-857
5. S・L・ルビンシュテイン：寺沢恒信訳、存在と意識(上)、青木書店、1960年、pp.105-123
6. 小野武年、摂食行動と食物の識別 (In 伊藤正男編「脳と認識」)、平凡社、1982年、pp.213-246
7. A・Z・プー二：藤田・山本訳、実践スポーツ心理、不昧堂、1967年、pp.81-91
8. A・N・ソコロフ：松野豊訳、言語運動の求心的作用と思考の脳メカニズムの問題、ソビエト心理学研究 9・10号、1970年、pp.36-54
9. 柘植秀臣、進化と条件反射、恒星社厚生

- 閣版、1971 年、pp.139-150
10. 山崎 健、人間の随意運動における 2 つの成分について、新潟大学教育学部紀要 第 24 巻 2 号、1983 年、pp.581-590
 11. 山崎 健、運動の認識と習熟、(In 伊藤高弘・出原泰明・上野卓郎編「スポーツの自由と現代(下)」)、青木書店、1986 年、pp.299-313
 12. 山崎 健・杉本英夫・加名生さやか・馬

- 場裕子、瞬時心拍変動による運動経過の記録、新潟大学教育人間科学部紀要・自然科学編 第 7 巻 2 号、2005 年、pp.157-167
13. 山崎 健・馬場裕子・ソリタラト・岡本芳三、長距離ランニング中のペース変化と瞬時心拍変動、新潟大学教育人間科学部紀要・自然科学編 第 8 巻 2 号、2006 年、pp.109-123

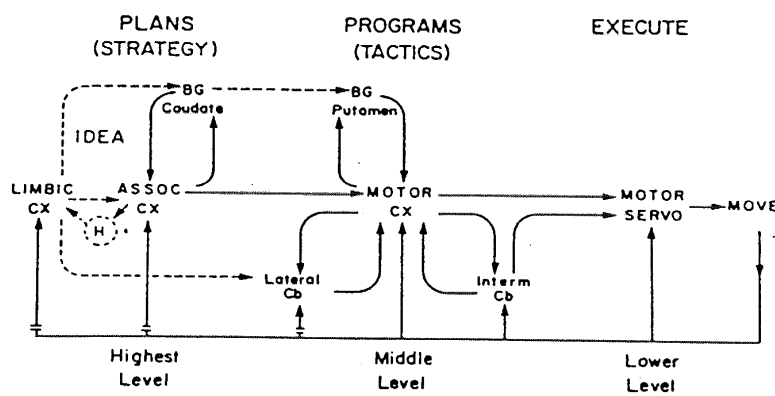
リズムカルな運動の生理心理学的効果

リズムカルな運動と生体応答

リズムカルに反復される循環的運動（自転車ペダリングやランニング）においては、脚部の筋組織の反復収縮により末梢血液の環流（ミルキングアクション）が生ずることは良く知られている。森谷⁵⁾は、筋収縮のタイミングが心臓循環系に及ぼす影響について、右

心房拡張期に同期する「カップリング現象」の可能性を示した。

もしも、リズムカルな筋収縮をとまなう運動によって生起される生体の反応が周期性を持つとすれば、Brooks¹⁾が描いた随意運動における情報の流れにおける上行性の影響はどうであろうか。



BG Coudate : 大脳基底核・尾状核
 BG Putamen : 被核
 LIMBIC CX : 辺縁皮質
 ACCOC CX : 連合皮質
 MOTOR CX : 運動皮質
 MOTOR SERVO : 動作サーボ
 Lateral Cb : 外側小脳
 Interm Cb : 内側小脳
 H : 海馬

随意運動における情報の流れ (Brooks, V. B. 1986)

もしも Lower Level から Middle Level におけるリズムカルな筋収縮が、エネルギーの消費系と生産系をも含めて周期性を持つとすれば、Highest Level とされる「意思決定」や「意欲」等の遅い系列も速い周期性の「整数倍(ま

たは整数分の 1 倍)」の周期性をもつ可能性は否定できない。

特に、心拍をも含めた生体の周期的応答は、自律神経系を中心とする興奮性及び抑制性的の影響を受けた「周期的ゆらぎ (fractal)」の性

質を持っている。

多賀⁷⁾は、運動の自己組織に関連して、歩行モデルの非線形振動子の引き込み現象において、システムを構成する多数の要素が相互作用を通じて全体としての秩序を生み出す協力現象の理論として「シナジェティック」という概念を示した。これは、速い変化系と遅い変化系が同時進行するとき、系全体の振る舞いが遅い変化をする変数だけで決まる「スレイビング」に相対する概念であり、新たな秩序の生成が上位中枢からの司令だけでは成立せずに環境との相互作用で新たな自己組織を行うという点で画期的な考え方である。

有名なシックとオルロフスキーの「除脳ネコ」歩行モデル（1966年）についても、流れベルトの速度増加が、左右脚の位相転換により、突然ウォークからギャロップに変化する例を引用し、外的環境の変動が上位の運動パターンを変化させる可能性を示した。

もしも運動リズムが、上位中枢からの司令だけではなく、身体と環境との不断の相互作用（トップダウンとボトムアップの反復）によってシナジェティックに決定されているとすれば、リズムカルに反復される運動周期が生体系全体として効率的にエネルギーを生産し消費する周期性をもち、高度に組織化された運動遂行状態を生み出すこととなる。

リズムカルな運動の生理心理学的効果

身体運動の生物学的効果については、クラウスとラーブ⁸⁾の指摘した逆説的な「運動不足病 (hypo-kinetic disease)」が有名である。また、竹中⁸⁾は、身体運動のストレス低減効果について、生物学的メカニズムと心理学的メカニズムの存在を指摘した。

早野²⁾は、心筋梗塞患者の心拍ゆらぎが極端に減少し、また、運動によって生じたLF/HF

比の増加が、日ごろから運動を行っている群が運動を実施していない対照群に比べて早く回復するとしている。山崎⁹⁾は、運動選手の心拍変動のパワースペクトル解析を行い、副交感神経系の活動を反映するHF成分が運動選手群の方が高く、安静時の副交感神経活動レベルが亢進していることを指摘した。

運動の生理学的効果としての自律神経系機能の変化は、情動反応とも関連して、生体反応の生理心理学的変容をもたらす。

従来の概日リズム（サーカディアンリズム）の周期性は、睡眠と覚醒、食事と運動といった比較的ゆったりとした事象との対応で考えられてきた。中川と永井⁶⁾は、脳へのエネルギー供給系の中枢性調節において、ブドウ糖量に比例して活動が変化するニューロンが末梢組織まで広がっていることを指摘した。

もしも、リズムカルに反復される運動が、血液還流の効率化やエネルギー生産の効率化をもたらすとすれば、習慣的に反復実施される身体運動への適応は、「効率化」による「心地よい運動実施感覚」をまねき、上位中枢の意思決定や意欲の周期化をもたらすものと考えられ、概日リズムの中枢性調節への関与も考えられる。

本多ら³⁾は、快適自己ペースと最大酸素摂取量の70%（フルマラソン相当）での15分間の自転車エルゴメーターペダリング運動を比較し、軽度の運動のほうが頭頂部脳波の周波数成分（アルファ波成分）の左右差が解消されることを指摘した。

山崎のデータ（山崎健、運動実施にともなう生理心理学的指標の変容：未発表、2005年）では、PWC150相当の自転車ペダリング運動であっても、アルファ波成分の増加と本多らと同様の周波数成分の左右差の解消が見られている。

このような身体運動の生理心理学的効果は、従来の筋力や持久力の向上といったいわば「体力主義的」な評価に変わる新たな視点を提供する。1500mや 5Km 走のタイム（パフォーマンス）が高いことも重要ではあるが、心拍応答の自律神経系への反応性（持久性）の改善や心理的爽快感の獲得などは、生活習慣病の改善や運動習慣の形成により重要な因子として評価されるべきである。

リズムカルで周期的な運動の継続的实施は、脚筋のリズム的な収縮による血液還流の促進とエネルギー生産性の効率化をもたらし、上位中枢での意思決定や意欲のレベルにも周期性をもたらして、長期的には自律神経系と情動反応の改善をはかる可能性を持っているものと考えられ、今後様々な生理心理学的パラメータを同時記録しながら研究を進めてゆくことが重要である。

<文献>

1. Brooks V.B. ,The Neural Basis of Motor Control、Oxford University Press（1986）：pp.18-35
2. 早野順一郎、心拍ゆらぎと自律神経、Therapeutic Research Vol.17(1)、1991年、pp.163-233
3. 本多麻子・正木宏明・山崎勝男、強度の異なる運動が感情と脳波の偏則性に及ぼす効果、生理心理学と精神生理学 第 19 巻 3 号、2001 年、pp.217-225
4. H・クラウス、W・ラーブ：広田・石川訳、運動不足病、ベースボールマガジン社、1977 年、pp.71-149
5. 森谷敏夫、筋収縮のタイミングが心臓循環系に及ぼす影響について（In 加賀谷・中村編「運動と循環」）、NAP、2001 年、pp.160-165
6. 中川八郎・永田克也、脳と生物時計～からだのリズムのメカニズム、共立出版、1991 年、pp.116-139
7. 多賀巖太郎、脳と身体の動的デザイン～運動・知覚の非線形力学と発達～、金子書房、2002 年、pp.1-37
8. 竹中晃二、運動・スポーツのストレス低減効果（In 竹中晃二編「健康スポーツの心理学」）、大修館書店、1998 年、pp.10-17
9. 山崎 元、スポーツ心臓と心拍の変化（In 竹宮隆・石河利寛編「運動適応の科学」）、杏林書院、1998 年、pp.103-104