

運動と交感神経活動

渡 辺 一 志

1. はじめに

2000年、ミレニアムの年が開けました。いよいよ今年度、保健体育科研究室が開講するインターネット講座も今回が最後となりました。今月の講座では、運動をした時に神経がどのように反応し、運動に対してどのような役割を果たしているのか？近年、微小神経電図法（マイクロニューログラフィー）の発達によって明らかとなった、交感神経系の中から、特に、持続性運動に対する筋交感神経活動の反応とその役割に焦点をあてて解説いたします。

2. 筋交感神経について

私たちのからだをコントロールしている神経は、体性神経系と自律神経系から構成されています。さらに、体性神経系は、運動神経と感覚神経から、自律神経系は、交感神経と副交感神経からなっています。運動時には、骨格筋を司る運動神経がその主役を演じています。一方、自律神経系は、心循環系、呼吸器系、体温調節系などの機能の調節に関与し運動を支えています。からだのほとんど全ての組織の血管は交感神経の支配を受けており、このうち骨格筋の血管平滑筋を支配する交感神経を筋交感神経といいます。また、最近の研究から交感神経が骨格筋線維をも直接支配し、その活動性を調節する役割を担っていることが分かってきました。この交感神経の司令塔（中枢）は、延髄にあります。そこから中継点（交感神経節）までは、太い有随の神経線維（節前線維）で、中

継点から支配している血管平滑筋や骨格筋（効果器）までは直径 $0.1\mu\text{m}$ 以下の細い無随の神経線維（節後遠心性線維）によって命令（信号）が伝えられます。この筋交感神経は、血管平滑筋については収縮させる作用としてのみ働き、主に血圧や筋の血流を調節する重要な役割を果たしています。

3. 筋交感神経活動の記録

骨格筋の血管平滑筋を支配している筋交感神経の活動を、筋交感神経活動（MSNA；Muscle Sympathetic Nerve Activity）といいます。この記録には、主にタングステンでできた微小電極を用いますのでこの方法によって神経活動を導出することを微小神経電図法（マイクロニューログラフィー）といいます。先端の直径が約 $1\mu\text{m}$ 、軸の直径が $100\sim 200\mu\text{m}$ 、抵抗が $3\sim 5\text{M}\Omega$ の非常に細い電極をからだの中を走っている末梢神経の中に刺入し、活動を導出します。筋交感神経の活動は、非常に微量な活動ですので、増幅器を使って数万倍に増幅させて活動を記録します。筋交感神経活動は、自発性のバースト活動として記録され、アンプとスピーカーを用いて音をモニターすると「ザー・ザー」という特徴的なバーストの音が観察されます。筋交感神経活動の同定には、①筋神経束内から記録される遠心性のバースト活動で脈拍同期性の自発性活動を示す。②血圧の下降により促進され、上昇によって抑制される。

③Valsalva法（吸息後に息を止めて腹部に力を入れ、胸腔内圧を変化させる）により、その第3相の血圧低下時に著明に亢進する。④音（精神）刺激に反応しない。などを確認して行います。

4. 持続性運動時における筋交感神経活動の亢進とその役割

上肢や下肢における持続性（静的な筋収縮）の運動に対する筋交感神経活動の反応については、**掌握運動（ハンドグリップ）**や**肘関節の屈曲運動（ハンドカール）**、**膝関節の伸展運動（レッグエクステンション）**などの随意運動を負荷したときの、非活動筋を支配している筋交感神経活動が主に下肢の脛骨神経（下腿三頭筋支配）や腓骨神経（前脛骨筋支配）から記録されています。最大随意収縮（MVC; Maximal Voluntary Contraction）

の15%以下の張力では、筋交感神経活動の亢進は認められませんが、それ以上の一定張力の持続的な運動に対しては、発揮する筋の張力に応じて亢進されます。この筋交感神経活動の亢進によって末梢の血管が収縮することによって血管抵抗が上昇し、全身血圧を上昇させます。これに対して活動している筋では、筋収縮に伴って分泌される代謝性の血管拡張物質（一酸化窒素等）によって血管収縮を減弱しているものと考えられています。その結果、活動している筋への流入圧を高め、血液の供給を促進する役割を担っています。このほか、筋電図を指標とした筋の疲労や活動筋の主観的な疲労感覚に対応して高まることから、筋の疲労に拮抗する効果を有することなどが考えられています。持続性運動時（30%MVC、ハンドカール）の筋交感神経活動と各種生理パラメータの記

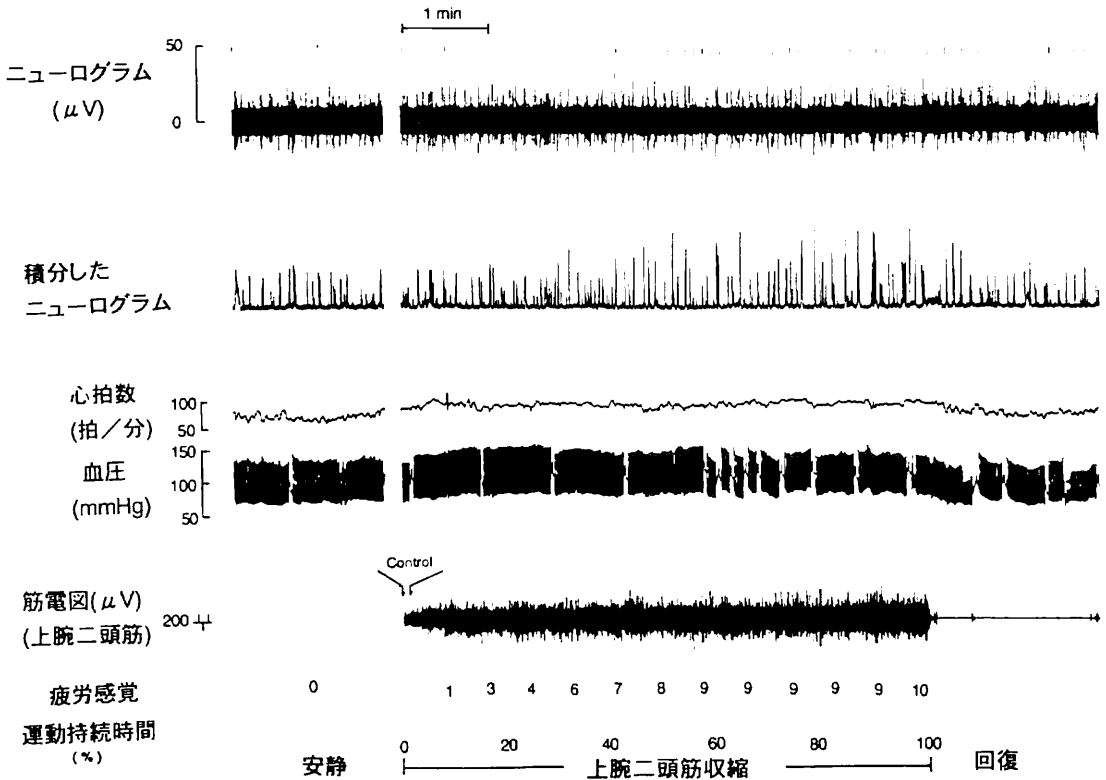


図1 記録例

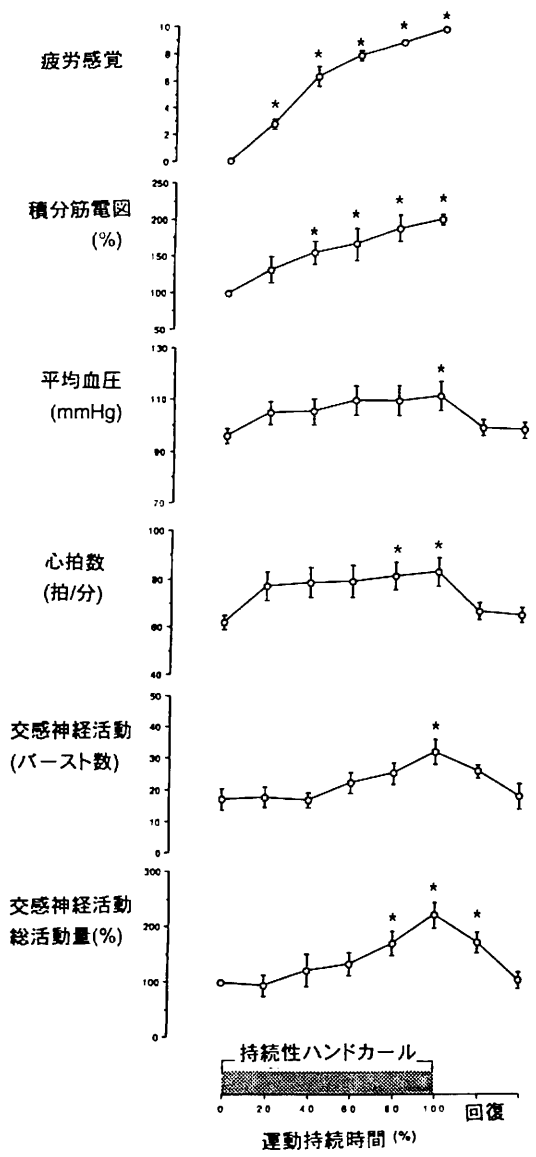


図2 経時的变化

録例(図1)とその経時的变化(図2)をご覧下さい。持続性運動時の筋交感神経活動や心拍数、血圧、筋活動、疲労感覚などの経時的な変化がよくおわかりになると思います。

5. 持続性運動時における筋交感神経活動亢進のしくみ

運動時の筋交感神経活動の亢進に関与する主な

因子としては、上位の大脳皮質からの体性運動神経活動が筋交感神経ニューロンに作用する中枢指令 (central command) と活動筋内のセンサー (体性感覚受容器) からの反射が考えられています。持続性運動時 (MVCの概ね30%強度) における筋交感神経活動の亢進は、運動の開始から0.5分~1.5分程度遅れて発現します。また、運動の終了直後にマンシェットによって動脈を閉塞すると、心拍数は速やかに安静時の状態に戻りますが、筋交感神経活動の亢進は持続し、全身血圧の高まった状態も維持されることが知られております。さらに、この亢進は骨格筋細胞内pHの低下と相関することが明らかにされています。このような研究の結果から、持続性運動時にみられる筋交感神経活動の亢進は、活動筋に蓄積した代謝産物が筋内のセンサー (代謝受容器) を刺激し、この感覚信号が求心性神経線維を介して延髄 (筋交感神経の中枢) に運ばれ、筋交感神経ニューロンを興奮させるという体性・自律神経反射によるものと考えられています。神経の活動をブロックした研究の結果などから、中枢指令は、筋交感神経活動に興奮性の影響を及ぼすもののその相対的強度は小さいと考えられています。

6. おわりに

今回の「運動と交感神経活動」では、微小神経電図法の発達によって明らかとなった、運動時の交感神経活動について、特に「持続性運動」と「筋交感神経活動」の関係についてとりあげてみました。運動中に私たちのからだに中で繰り広げられている神経性調節の一端に触れていただけましたでしょうか? いつまでも健康で神経性の調節が良好に維持できるように「アクティブ・リビング」を送っていただくことを希望し、この講座を閉じたいと思います。