

生理的なふるまい

• 中 枢

- 自律神経系（延髄毛様体に中枢がある）の働き
中枢では、どの様にして運動状態をセンシングしているのか？
疲労を伴わない場合、中枢からの運動指令で心臓交感神経へも情報が伝えら、心拍数が応答的に上昇する。
疲労により中枢からの指令に末梢が反応しなくなると、代謝や局所的筋活動に伴う反射によって情報が心臓交感神経へ伝えられるようになる。
ただし、代謝に関係したものは時間遅れがみられると考えられる。
- 運動状態の自覚はどこで行われているか？

• 運動機能の変化に対する生体の戦略

- 運動機能の変化に対して中枢はそれをどのようにセンシングし、どのような戦略で対処していくのか？
エネルギー代謝が少なくなるような運動へ移行しようとする可能性がある。
- 神経筋運動制御系
末梢の筋疲労につれて、中枢からの運動指令に対して意図した運動を実現しにくくなる？
末梢の筋疲労と中枢でのイメージ（脳内モデル）とのアンバランス？
- 周期性
疲労につれて、周期的な活動が現れやすくなるのでは？
心拍変動を呼吸でコントロールしやすい周波数帯域が存在するのでは？

• 心拍数

- HRが上昇すると、血圧を維持するための機能が働く必要がでてくる。
筋交感神経系との関係
- 心拍数の絶対値は何を意味しているのかをチェックする必要がある。
例えば、運動の前に心拍数が増加するのは、体に対して準備をせよとの司令ではないか？

• 筋，循環器系

- 筋疲労は急速に進むが（クレアチン燐酸系の消費）、代謝による循環器系の変化はゆっくりしており、変化を知るまでに時間がかかる。
様々な時間スケールが存在し、その差が大きな違い故に比較が難しい。
- 筋活動により、さらに筋疲労により筋交感神経系がはたらく
運動している筋肉以外に対しても筋肉内の血管を収縮させるように働く
この結果、血圧は維持できるが、筋疲労は進むことになる。

筋交感神経系（MSNA）の働き

・ 主要周波数成分とその働き

- ・ LF成分 ($0.1 \text{ cycle/beat} = 0.1/0.8 = 0.125 \text{ Hz}$)
HRVのLF成分と心室血圧（主体はこちら）の変動に關与
- ・ HF成分 ($0.35 \text{ cycle/beat} = 0.35/0.8 = 0.438 \text{ Hz}$)
HRV，血圧，呼吸の影響を受けている
- ・ 文献

A. Nakata, S. Takata, T. Yuasa, A. Shimakura, M. Maruyama, H. Nagai, S. Sakagami, K. Kobayashi, *Spectral analysis of heart rate, arterial pressure, and muscle sympathetic nerve activity in normal humans*, *Am. J. Physiol.*, vol. 274, H1211-1217, 1998.

・ 運動による変化・疲労による変化

- ・ 運動による交感神経の緊張状態は疲労につれて変化するものか？
- ・ 開始で 25 beat/min ($= 25/60 = 0.4 \text{ beat/sec}$)，運動の最後には 41 beat/min ($= 41/60 = 0.68 \text{ beat/sec}$)
M. Saito, R. Sone, M. Ikeda, and T. Mano, *Sympathetic outflow to the skeletal muscle in humans increases during prolonged light exercise*, *J. Appl. Physiol.*, vol. 82, 4, 1237-1243, 1997.
- ・ 筋疲労による影響で，運動していない筋のMSNAが亢進する。
D. R. Seals, R. M. Enoka, *Sympathetic activation is associated with increases in EMG during fatiguing exercise*, *J Appl Physiol*, vol. 66, 1, 88-95, 1989.
- ・ 交感神経が血管に作用する筋交感神経系の場合，動脈に作用する。
動脈の収縮により，静脈への戻し血流量が増加する。

周波数帯域毎の変化

- ・ トライアル数の増加につれての様々な変化（特に、MSNA関連）は、交感神経活動を維持できなくなってきた特徴か？
- ・ トライアル数の少ない初期の段階での様々な変化（特に、MSNA関連）は、筋疲労に対して筋の動きが悪くなった際でも血圧を維持しようとするための仕組みか？
 - ・ 0.6Hz付近
HRVでは呼吸性の振動があり、トライアル数の増加につれてパワーの増加と周波数の低域化が見られる。
筋活動の周期とは無関係のように思われるが、ランニングなど運動が完全に周期的な場面と比較する必要がある。
 - ・ 0.1 ~ 0.2Hz付近
HRVでは血圧調節系の帯域であるが、トライアル数が増加しない限り見にくい。
ARVではスキージャンプによる繰り返し周波数がこの帯域であった。特に、スキージャンプ数はトライアル数の増加につれて0.1Hz付近となった。
 - ・ 0.6Hz ~ 1.5Hz付近
この帯域でのHRVに見られるピーク周波数成分はAR項によって作られている。減少特性がARVからの影響を受ける帯域に関係する。
この周波数帯域でのHRVの周波数特性と比較して、システム関数は利得の減少が少ない。
HRVの振幅の周波数特性はトライアル数の増加につれて急激に減少していく。
ARVの周波数特性での利得の減少よりも遙かに大きい。
HRVで振幅特性が減少する特徴は、トライアル前半、後半で違いはない。
一方、ARVの周波数特性は一つのトライアル前半60秒での変化は少ないが、トライアル後半60秒での利得の減少が大きい。
この差は、トライアル数の増加につれて大きくなる。
その結果、1.5 Hz以上でシステム関数の利得がトライアル後半に増加するケースが多い。
しかし、これが何を意味するかは不明。
呼吸の周期の高調波成分？
一定収縮時のMU Firingに低周波のfluctuationが観察されている。この周波数は1.0 ~ 2.0Hzである。
FT系の関与が予想される。
中枢レベルでの筋疲労時にMU Firingを最適化する動きか？
 - ・ 特に、1.2 ~ 1.4Hz付近
後半のトライアルでは、ARVとHRVともにそのARスペクトルの1.2 ~ 1.4Hz付近に周期性の活動があり、この活動にARVとHRVとの間で何らかの関係が予想される。
この帯域では、システム関数は最初のトライアルではややフラットであり、午後からの後半のトライアルでは減少特性を示す。
フラットであることは、ARVからのHRVへの情報の流れを意味するのか？
コヒーレンスは低くない。つまり、入出力関係には線形な意味がある。
減少特性は、この帯域でHRVの振幅特性が大きく減少することによる。
呼吸関連成分のピークが増加し、低域へシフトするため。
筋活動とMSNAとの関係には相関があるため、ARVとHRVとの解析結果はその間接的な変化を表現しているのかもしれない。