

# 運動機能評価のための計測・解析機能分散型支援システムの開発 Development of Functionally-Distributed Computing System for Supporting Measurement and Analysis of Physical Activity during Exercise.

青木航太<sup>1</sup>, 木竜 徹<sup>1</sup>, 牛山幸彦<sup>1</sup>  
Kouta AOKI<sup>1</sup>, Touru KRYU<sup>1</sup>, and Yukihiko USHITYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Niigata University

**Abstract** It is important to take an appropriate rest during repetitive exercise. We studied the effect of information feedback of physical activity on an interval of a rest for the following exercise. The information feedback was achieved by a functionally-distributed computing system that serves field measurement, signal processing for analysis, and modification of the results for browsing via the Internet. By the information feedback with a PDA, subjects during repetitive cycle ergometer exercise enlarged the resting interval for muscular fatigue.

## 1. まえがき

健康を維持・増進・管理・回復するためにスポーツ・エクササイズ・リハビリテーションに携わる人が増加している。しかし、活発な運動を長時間繰り返し行う場面では疲労が蓄積し、ケガを引き起こす事により効果的な結果を得ることが出来ないばかりか、目的達成のモチベーションまで低下してしまう事がある。そのため、効果的な結果を得るために客観的な運動機能の変化を探りたい場面が増えている。

そこで、計測・解析・評価・閲覧する一連の流れをいつでもどこでも実現する機能分散型支援システムを開発し、繰り返し運動中の運動機能の変化を探った。特に、運動機能が変化する際に、様々な要因が生体機能に影響を及ぼしているが、本研究では筋活動の働きに注目した。

本報告では運動と休息を繰り返す自転車エルゴメータ運動を対象とした。また機能分散型支援システムにより、筋活動の解析結果をPDAにてフィードバックできるようにした。

## 2. システム概要

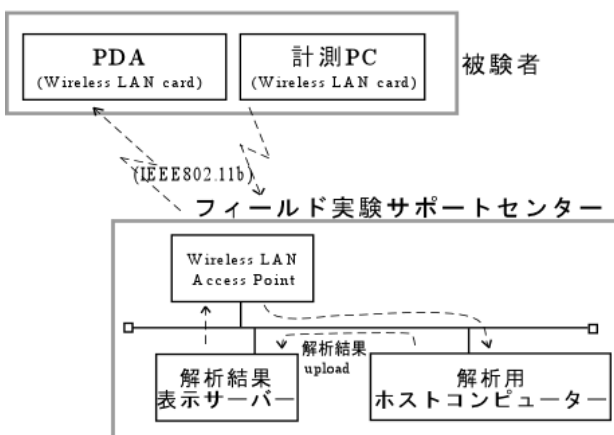


図1. 機能分散型支援システムの概要

計測装置と解析PC、閲覧装置を無線LANシステムを用いてフィールド実験や運動を円滑に行えるような機能分散型支援システムの概要を図1に示す。被験者側には計測器 (DELSYS社製: MYO-8 SN-1021, Hewlett-Packard社製: jornada720) とPDA (NEC社製: Pocket Gear MC-PG5000) を持たせた。験者側のフィールド実験サポートセンターには解析用PC (ソニー社製: PCG-9A2N) とサーバー (apache)

を置き、無線LAN (メルコ社製 BUFFALO) で接続した。無線LANはIEEE802.11b規格で最大転送速度11Mbps, 最大伝送距離は野外で160メートルである。

自転車エルゴメータ運動通信終了後に計測した表面筋電図データを、フィールド実験サポートセンターの解析用PCで受信し、迅速に解析結果を無線LAN接続されたPDAにフィードバックできるようにした。

PDAでの表示内容は、電極貼付位置 (3.1参照) や表面筋電図の解析結果等である。なお、解析結果はPC上でJPG変換され、表示サーバーによってPDAに表示できるようにした。さらに、前回の運動との比較ができるように、解析結果をそれぞれ区別し重ねて表示した。これによってtrial毎に計測データをダウンロードし、解析をオンサイトで行うことで、データベース化された過去の解析データとの比較をしながら確実な計測フィールド実験を進めることができる。

## 3. 方法

### 3.1 表面筋電図用電極の貼付位置

あらかじめ被験者には負荷が時間と共に増加する漸増負荷テストを行い、被験者の利き足の外側広筋から表面筋電図を計測した。表面筋電図を計測するため、電極幅1cm, 電極間隔1cmの16-barマルチアレイ電極 (Prima社製: AA 16/10) を用いた。いま、各電極の隣接する3つのチャンネルをひとつの'triplet'とする。ひとつのtripletからひとつの筋線維伝導速度 (MFCV: Muscle Fiber Conduction Velocity) を推定できる。ここでは、各tripletにおけるMFCV推定値の標準偏差を比較し、ひとまとまりの実験を通して標準偏差が最小となるtripletの位置を電極貼付位置のベストポジションとした<sup>1)</sup>。

### 3.2 計測

被験筋は自転車運動時に積極的に活動する外側広筋 (利き足) を対象とした。運動時の表面筋電図を計測するため、電極幅1cm, 電極間隔1cmの2-barアクティブアレイ電極 (DELSYS社製) とMYO-8 (利得60dB, 時定数0.03sec) を用いた。さらに、A/D変換カード (MEASUREMENT COMPUTING社製: DAS16/16) を用いサンプリング周波数2048Hzで、サブノートPC内のPCカードに記録した。

### 3.3 実験と解析

自転車エルゴメータの負荷をスキー運動時の表面筋電図から整流化平均値 (ARV: Averaged Rectified Value) を推定し、その時系列変化に似せた負荷制御にした (図2)。負荷の最大値は各被験者の $VO_{2max}$  75%に設定し、最小値を $VO_{2max}$

50%に設定した。表面筋電図の振幅値情報としてはARV, 周波数情報としては平均周波数 (MPF: Mean Power Frequency) を推定した。さらに, ARVとMPFの相関係数 $\gamma_{ARV-MPF}$ の時系列を区間長 30sec, シフト長 1secで求めた。自転車エルゴメータによる繰り返し運動を対象に, 最初に安静した 5 分間をとり, その後 5 分間の運動を 5 回繰り返した。ただし, 5 回の運動の合間にとる休息時間は各被験者の判断にまかせた。ここで, 休息時間に表面筋電図よりARV, MPF,  $\gamma_{ARV-MPF}$ を推定した結果をPDAに表示した(図 3)。これによって筋活動(筋疲労)をフィードバックさせた場合と, フィードバックなしの場合とを設定した。最後に 5 分間の安静をとった。被験者は健康な成人男性 1 名で, 実験は合計 10 日間行った。

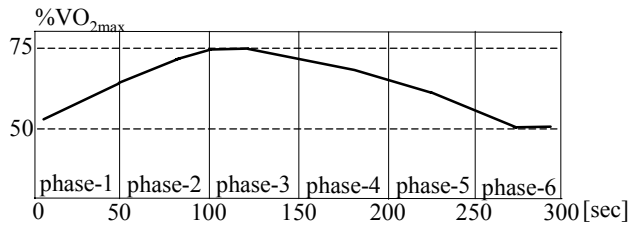


図 2. 自転車エルゴメータの負荷制御

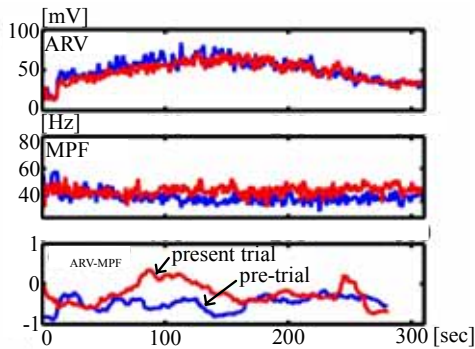


図 3. PDA 表示画面

#### 4. 結果

5 分間の自転車エルゴメータ運動終了後に保存されるデータ容量は 1.21MB であった。計測データが保存されている PC カードを無線 LAN 接続されている PC に挿し計測データを験者側のフィールド実験サポートセンターの解析用 PC に転送した。1.21MB の計測データをおよそ 40sec でデータ転送した。また, フィールド実験サポートセンターでは無線 LAN 接続された解析用 PC で計測データの解析をおよそ 20sec で行った。その後, PDA の閲覧におよそ 10sec かった。よって, 1.21MB の計測データの転送開始から PDA の閲覧までおよそ 80sec かった。つまり, 休息中の時間内にフィールド実験サポートセンター側の PC 上で筋活動の評価指標を推定し, 被験者と験者が運動機能の変化を迅速に把握できた。

フィードバックありの場合とフィードバックなしの場合の運動機能の変化を, 筋活動から評価した。すなわち, 5 分間からなる運動時の $\gamma_{ARV-MPF}$ の時系列変化を推定し, 50sec毎に 6 つ (phase-1 ~ phase-6, 図 2 参照) に分割し,  $\gamma_{ARV-MPF}$ の平均値と標準偏差を求めた(図 5)。被験者 M.J. はフィードバックなしの場合, 4th trialのphase-3 で $\gamma_{ARV-MPF}$ の平均値が-0.5 まで低下した。しかし休息時間を見ると 3rd trial後より短い時間しか休んでいない。その後の 5th trialのphase-3,4 では $\gamma_{ARV-MPF}$ の平均値が-0.5 付近を推移した。フィードバックありの場合, 1st trial, 2nd trialでは零付近を推移したが 3rd trialのphase-6 で-0.5 付近を示した。 $\gamma_{ARV-MPF}$ の推移をPDAによって閲覧した被験者 M.J. は休息時間を前回より 40sec 多くとった

が, 4th trialのphase-3 で-0.6 を示した。そこで, さらに休息時間をおよそ 100sec 多くとった。その後, 5th trialでは $\gamma_{ARV-MPF}$ は零付近を推移した。

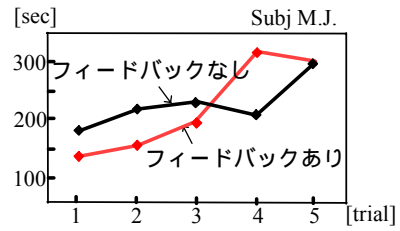


図 4. 各 trial 後の休息時間

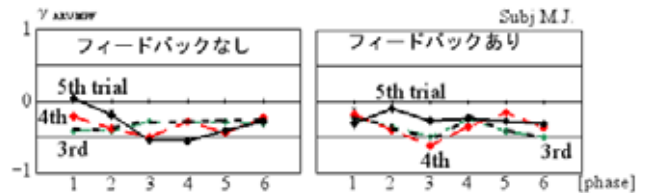


図 5. 各 trial における phase 毎の $\gamma_{ARV-MPF}$ の平均値の変化

#### 5. 考察

計測・解析・評価・閲覧する一連の流れをいつでもどこでも実現する機能分散型支援システムの構築を行った。それぞれを無線 LAN 接続しているため, 被験者は自由に動くことができ運動に専念できた。また, trial が終了する毎に計測データの確認ができ, フィールド実験が円滑に行うことができた。さらに, 休息時間内に解析結果の閲覧ができたことにより, 過去のデータベースとの比較やアドバイスのためにより, 適切な休息時間を十分に取れるようになった。

一日の運動機能の変化を $\gamma_{ARV-MPF}$ の経時変化で推定した(図 5)。ここで,  $\gamma_{ARV-MPF}$ は自転車エルゴメータ漸増負荷テストで筋疲労時に負になることが報告されている<sup>2)</sup>。実際, 被験者 M.J. では自転車エルゴメータの負荷が最大になる phase-3 あるいは phase-4 で $\gamma_{ARV-MPF}$ は負の相関を示し, 休息時間を多くとった後の trial では正の相関へ, または正の相関の方向へ近づく傾向が顕著にみられた。なお, 他の実験日でも同じような傾向を見ることができた。このことから筋疲労時には負の相関方向へ, 回復状態では正の相関へ推移していくのがわかる。ここで, 運動時における筋疲労状態と回復状態を捉えることができたのは, 電極貼付の際, 生理学的・解剖学的な問題点を最大限に回避した位置(ベストポジション)にて計測が行えたことと, PDA による筋活動の状態のフィードバックを休息時間に有効に生かした結果であると考えられる。

#### 6. まとめ

無線 LAN を用い無拘束状態で計測を行い, 運動機能の変化を筋疲労の指標の経時変化で推定し, 被験者に PDA にフィードバックする機能分散型支援システムを開発し, その応用として, 運動と休息を繰り返す自転車エルゴメータ運動でフィードバック効果について検討した。

#### 参考文献

- [1]青木航太, 木竜 徹, “筋線維伝導速度推定における運動時の実用的電極貼付位置決定”, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE2003-65, pp51-56, 2003.
- [2]山口健一郎, 木竜 徹, 田中喜代次, 斉藤義明, “中年者向けの自転車エルゴメータのリモート負荷制御システム”, 電子通信学会論文誌, vol. J83-D-II, no. 2, pp.840-847, 2000.