

歩行中の頭部の上下運動制御におけるバイオフィードバックの効果

天野, 加奈子 / AMANO, Kanako

(発行年 / Year)

2013-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2013-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2012 年度 修士論文

歩行中の頭部の上下運動制御における
バイオフィードバックの効果

—THE EFFECT OF BIOFEEDBACK CONTROL
ON THE UP/DOWN HEAD MOTION WHILE WALKING—

指導教授 渡辺嘉二郎 教授

大学院工学研究科システム工学専攻修士課程

11R6103

アマノ カナコ
天野 加奈子

***THE EFFECT OF BIOFEEDBACK CONTROL
ON THE UP/DOWN HEAD MOTION WHILE WALKING.***

Abstract

This paper describes how biofeedback improves the effects of training on human motion and how humans memorize the motion conditioned by the biofeedback. Walking with the least amount of up/down head motion is assumed to be a desired way of walking.

The degree of improvements in the motion learned by the different biofeedback trainings and also in training without biofeedback were compared by the different displacements of the up/down head motion. The up/down head displacement Signal detected by a small sensor was feedback to the auditory organ. Furthermore, the influence of this biofeedback on the newly conditioned memorized motion was examined by different training programs.

The improvement by the biofeedback training is three times better than the training without biofeed- back.

The skill learned by the biofeedback training is memorized even if the feedback loop is removed.

Key Words : biofeedback, acceleration sensor, walking

目次

第1章 はじめに	4
第2章 計測システム.....	5
第1節 計測システムの特徴.....	5
第2節 外観.....	5
第3節 仕様.....	6
第4節 センサ装着の様子	6
第3章 実験	7
第1節 理想歩行の定義.....	7
第2節 実験方法.....	7
第1項 意識のみによる理想歩行フォーム習得訓練実験.....	7
第2項 モーション視覚へのフィードバック方式	7
第3項 モーション視覚へのフィードバック方式	7
第3節 実験環境と条件	8
第4節 実験のプログラム	8
第4項 フィードバック無しの歩行実験	8
第5項 モーションの聴覚へのフィードバック方式	9
第6項 モーションの聴覚へのフィードバック方式	10
第5節 センサ信号処理と解析手法	10
第4章 実験結果	12
第5章 考察	14
第6章 終わりに	21
参考文献.....	22
謝辞.....	23

第1章 はじめに

臨床医学を中心に開発されてきたバイオフィードバック(Biofeedback, BF, Biofeedback training, BFT)法は、筋電図(EMG)脳波(EEG)を利用したものが多く、ストレス解消やリハビリテーションなどに大きな成果を上げている [1][3][4][7]。またこのBFをスポーツトレーニングへ応用した報告も近年見られるようになってきた。しかしEMGやEEGなどのBFは生理学的、心理学的機能を高めることを目的としたものが多く、スポーツにおいては間接的にパフォーマンスの向上を狙ったものである[5][6][10]。もっともBFとは「生体内の情報」をフィードバックすることであるとミラーによって定義されている[2]。ここで生体内の情報とは神経的、生理的状态を意味する。しかしスポーツにおいては身体の物理的情報(位置、速度、加速度など)に関する情報も有益である場合が多く、本論においてはその意味も含めてBFという語を用いることにする。このような広義のBFTを考えると、実際の運動中に動きの情報をBFし、その運動の習得が速まったという報告は少ない[8][9][10]。またBFTによって習得した動きは、本人の感覚に記憶されているのかどうかを調べた報告も見あたらない。そこで本論文はBFの次のような効果を調べることを目的とする。

(P1) 物理的情報のBFTはどの程度の効果があるのか。

(P2) そのBFTによって体得した動きは、自らの感覚に記憶されるのか。

第2章 計測システム

第1節 計測システムの特徴

本研究では，ワイヤレステクノロジー株式会社製の小型無線ハイブリットセンサⅡ（Model:WAA-010）を使用する．このセンサは，Bluetooth を用いた無線通信及びUSB接続による有線シリアル通信によって，内蔵された3軸加速度センサ，3軸ジャイロセンサ及び3軸地磁気センサによって，計測された加速度，角速度及び磁場のデータを送信することができる．本研究では，加速度センサのみを計測する．よって，小型ハイブリットセンサⅡ（Model:WAA-010）は以下，加速度センサと呼ぶことにする．

第2節 外観

Figure 1 にセンサの外観，各部加速度，角速度及び地磁気計測軸方向を示す．

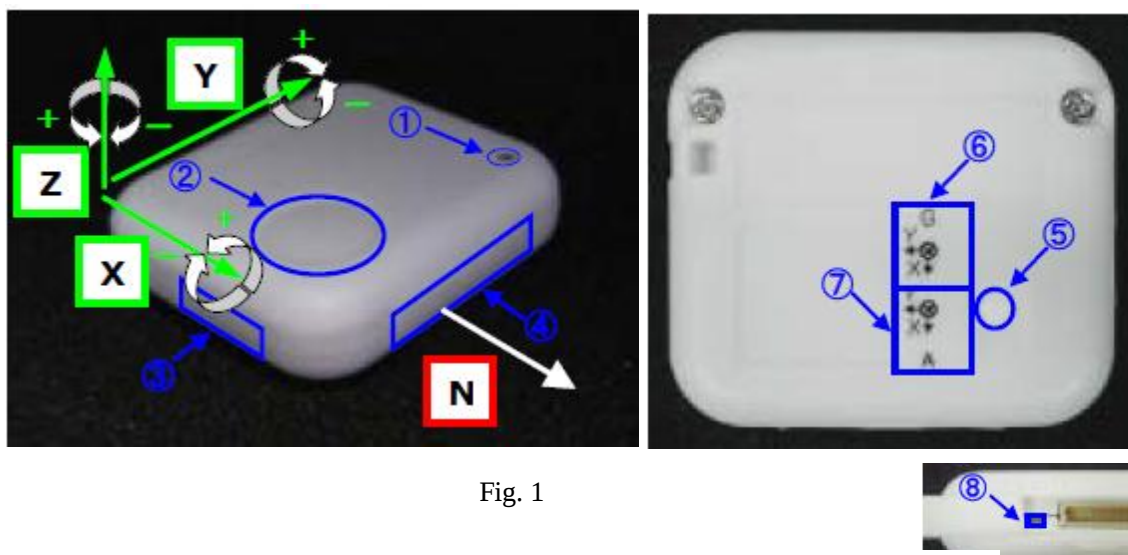


Fig. 1

- | | |
|------------------|-------------------|
| ① 状態表示用 LED | ② 電源ボタン |
| ③ 充電コネクタ | ④ 拡張用外部コネクタ |
| ⑤ 予備ボタン(未使用) | ⑥ ジャイロセンサ中心軸及び軸方向 |
| ⑦ 加速度センサ中心軸及び軸方向 | ⑧ リセットボタン |

第3節 仕様

Table 1 にセンサの仕様を示す.

Table 1

電源	リチウムポリマーバッテリー 230mAh
使用温度範囲(℃)	0～40
使用湿度範囲(%)	20～80 (結露しないこと)
サイズ(mm)	39(W)×44(H)×12(D) ※1
重さ(g)	20 ※1
稼働時間	最長 6 時間(100Hz サンプルング時)
通信機能	Bluetooth ※2 Ver 2.0+EDR Class 2
	転送帯域:最大 2.1Mbps 通信距離:最大 10m
	通信プロファイル:SPP-シリアルポートプロファイル
加速度センサ	検出範囲 $\pm 2G/\pm 4G/8G/16G$ ※3
角速度センサ	検出範囲 $\pm 2000\text{dps}$
地磁気センサ	検出範囲 $\pm 300\mu\text{T}$

※1 パッケージ及びバッテリーを含む.

※2 Bluetooth は米国 Bluetooth SIG Inc.の商標である.

※3 感度選択機能あり.

第4節 センサ装着の様子

加速度センサ装着の様子を Figure 2 に加速度センサとレーザーポインタ装着の様子 Figure 3 示す.



Fig. 2 加速度センサ装着の様子

Fig. 3 加速度センサとレーザーポインタ装着の様子

第3章 実験

第1節 理想歩行の定義

本研究では人間がある任意な運動を取得する過程を対象にしているため、運動そのものの有意義性は問題にしない。ここでは理想歩行フォームを「歩行中において頭部の運動加速度最小の歩行」とする。反射的な運動とされている歩行運動において、初心者にとってかなり難しい運動であると考えられる。本論は、この運動のトレーニング過程において、頭部の上下加速度減少率からBFに関する(P1)、(P2)の効果を調べることにする。

第2節 実験方法

第1項 意識のみによる理想歩行フォーム習得訓練実験

モーションセンサフィードバック法の効果の現象論的な証明のために、フィードバックは行わず、被験者の感覚による理想歩行フォーム習得訓練実験のグループを設ける。この実験を行うグループを(T1)とする。

第2項 モーション視覚へのフィードバック方式

モーションの聴覚へのフィードバック方式で提案する方法は、頭部に 3 次元加速度センサを設置し、この加速度の大きさがある閾値を超えた時に短時間の警告音を鳴らし、頭部の加速度が閾値レベルを超えたことを聴覚にリアルタイムにフィードバックする方法である。加速度の大きさに注目する利点は、「①ベクトルとしての3次元加速度に注目した場合、ヒトへの加速度センサの設置が困難であるとともに、一旦設置しても歩行動作によりその方向がずれることがある。スカラーとしての加速度の大きさでは、センサの設置角度が任意であっても、大きさは重力加速度に運動加速度が加わったものとなる。②運動の変化をとらえるためには変位、速度に比べ、加速度が大きく運動変化を強調する。③センサ信号から直接その大きさが求められる。」である。

このように加速度の大きさが歩行に伴いある閾値を超えたとき、フィードバックする方法をモーションセンサフィードバック法と呼ぶ。訓練者はこの方法により、この音を聞くと歩行が理想状態にないことを直ちに認識し、理想歩行に近づける試みを行う。試行錯誤を繰り返す中で警告音のならない歩行を学習する。

この実験を行うグループを(T2)とする。

第3項 モーション視覚へのフィードバック方式

上記の聴覚へのフィードバックの代わりに、視覚へフィードバックする方式である。頭部にレーザーポインターを設置し、前方壁面にレーザー光線を照射する。頭部運動（主と

第3章 実験

して角度の変化)に伴い、光テコの原理で照射点は大きく移動する。この移動を見ながらその移動量を少なくするように歩行させる。この実験を行うグループを(T3)とする。以上3種類の実験において、生体情報として、頭部の運動加速度を記録する。

第3節 実験環境と条件

被験者は、メトロノームのリズム音に合わせ幅 1.5m の水平な廊下を 10m 直進歩行する。そのリズムは、1.5Hz である。

廊下を挟む壁には高さや方向を示す特別な指標はない。各トレーニング前には被験者に「頭をなるべく

上下に動かさないように、メトロノームのリズムに

合わせて歩行をしなさい」と言葉による説明を行った。成人 10 名からなる 3 グループを構成し、被験者はそれぞれ全ての訓練で同じ靴を着用した。

第4節 実験のプログラム

第4項 フィードバック無しの歩行実験

● 1 日目

〔センサ設置〕

① 頭部に 3 次元加速度センサを設置

〔歩行実験〕

① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す。

② 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す。

③ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す。

④ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す。

⑤ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す。

⑥ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す。

● 2 日目

〔センサ設置〕

① 頭部に 3 次元加速度センサを設置

〔歩行実験〕

第3章 実験

- ① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ② 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ③ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ頭部を動かさないよう意識しての歩行を 10m で 5 回繰り返す.

第5項 モーションの聴覚へのフィードバック方式

● 1 日目

〔センサ設置〕

- ① 頭部に 3 次元加速度センサを設置

〔歩行実験〕

- ① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ② 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.
- ③ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ④ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.
- ⑤ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ⑥ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.

● 2 日目

〔センサ設置〕

- ① 頭部に 3 次元加速度センサを設置

〔歩行実験〕

- ① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.
- ② 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.
- ③ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩

行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.

第6項 モーションの聴覚へのフィードバック方式

● 1 日目

〔センサ設置〕

- ① 頭部に 3 次元加速度センサを設置
- ② 頭部にレーザーポインターを設置

〔歩行実験〕

- ① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ② 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.
- ③ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ④ 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.
- ⑤ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ通常の歩行を 10m で 5 回繰り返す.
- ⑥ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ前方のレーザーポインターの光が大きく動かないように歩行させ 10m で 5 回繰り返す.

● 2 日目

〔センサ設置〕

- ① 頭部に 3 次元加速度センサを設置

〔歩行実験〕

- ① 1.5Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.
- ② 1.75Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.
- ③ 2.0Hz でメトロノーム音を聞かせ、そのリズムに合わせ 1 日目の BFT で体得した歩行を思い出しながら 10m で 5 回繰り返す.

第5節 センサ信号処理と解析手法

センサからのデータは、重力加速分を引き、相対上下加速度のデータとする. そして、歩行中の 1 歩における相対上下加速度を逐次求めていき、その平均値をそのトレーニング

第3章 実験

の平均振幅とする．1.5Hz, 1.75Hz, 2.0Hz における通常歩行の上下加速度平均振幅をそれぞれ 1 とし，これに対する意識のみの歩行または BF ありの歩行，2 日目の歩行の上下加速度平均振幅を相対振幅とする．

第4章 実験結果

(T1)(T3)グループは、頭部から頸部、または頭部から腰椎までを棒のように固めた姿勢で歩く被験者が大半を占めた。(T2)グループは、多少すり気味に、また腕の振りも小さくして歩行していた。

Figure 4 に代表的な歩行時の上下加速度データを示す。また、トレーニング1日目のデータにおける相対振幅と平均振幅をグラフ化し、Figure 5 に示す。Figure 6 に同グループ2日目の場合を示す。

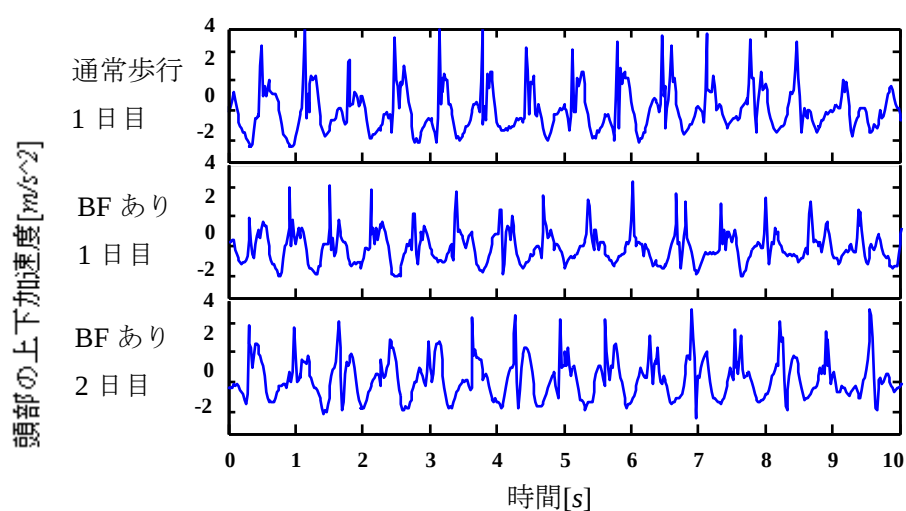


Fig. 4 各トレーニング中における頭部の上下加速度

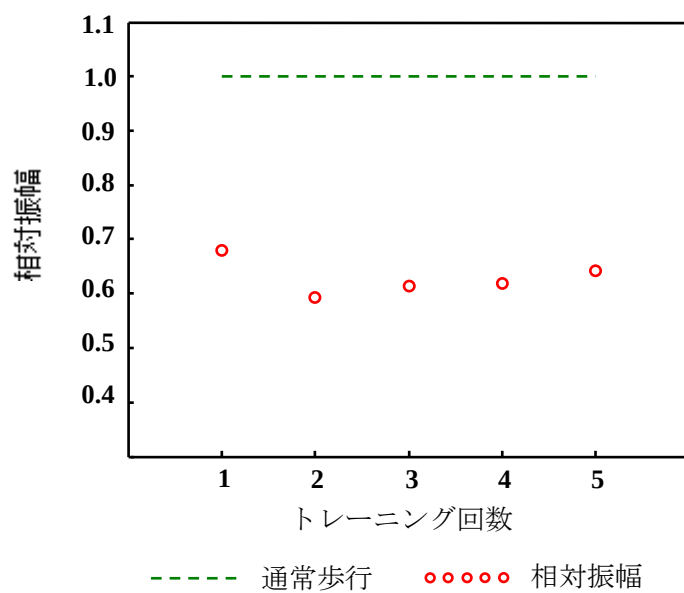


Fig. 5 1日目のトレーニングによる頭部の上下加速度の代表的な例

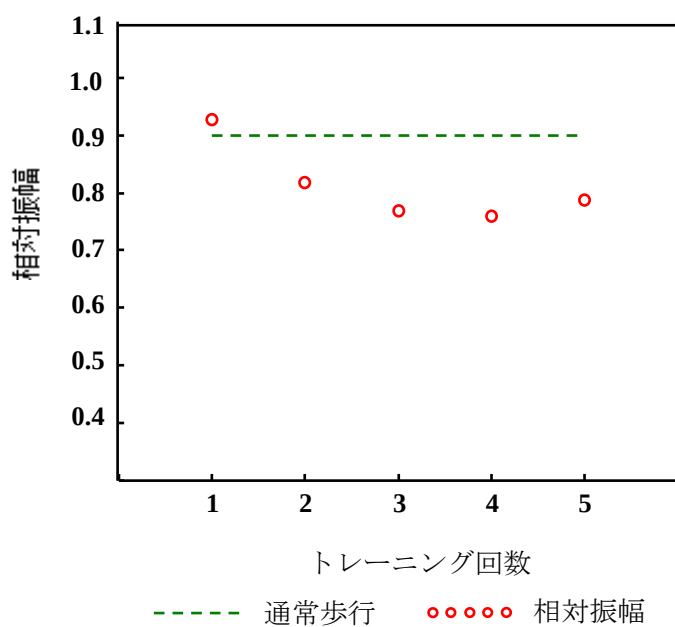


Fig. 6 2日目のトレーニングによる頭部の上下加速度の代表的な例

第5章 考察

● 身体トレーニング効果の数学モデルとその特性を表す係数

身体的トレーニングとはある特別の活動に必要なスキルを学習するプロセスである。いかなるトレーニングにおいても、その中に二つの特性を見出すことができる。これらは「進歩」と「後退」である。進歩とは、ある状態から次の状態に徐々に発育するプロセスであり、後退とはより以前のより非効率な状態に戻ることを意味する。この後退は肉体的なあるいは神経的な制約や欠陥によるものである。もしもこの後退がないとすれば、単純で優しい訓練により大きなトレーニング効果が得られる。しかし現実にはそのようなことはなく、誰もが訓練において苦勞している。

ここでは身体トレーニング効果の数学モデルを考えるが、そのモデル化に必要な変数と定数を以下に定義する。

t : トレーニング時間あるいは回数

$p(t)$: 発達を表す変数で、この値域は $[0,1]$ である。 $p(t)=1$ のとき、トレーニング結果は最高状態にあり、 $p(t)=0$ のとき、トレーニング前の状態で全く発達がない状態である

$r(t)$: 後退の程度を表す変数で、この値域は $[0,1]$ である。 $r(t)=1$ のとき、トレーニング結果は $p(t)=0$ の状態にあり、 $r(t)=0$ のとき、トレーニング結果は $p(t)=1$ の状態にある。

T : 発達のあるレベルに達するまでのトレーニング時間あるいは回数。以下習熟時間と示す。

K : 最終的で定常的な発達の状態で $p(\infty)$ で与えられる。

π : 発達スピード係数

ρ : 後退スピード係数

後退の程度を表す変数 $r(t)$ は、発達のトレーニング時間に対する変化率 $dp(t)/dt$ に正に比例する。というのは、 $r(t)$ が大きいと発達の余地が増すからである。それに対して、発達の程度を表す変数 $p(t)$ は $dp(t)/dt$ に負に比例する。というのは、発達の余地を減らすからである。同様に、発達の程度を表す変数 $p(t)$ は、後退のトレーニング時間に対する変化率 $dr(t)/dt$ に正に比例する。というのは、 $p(t)$ が大きいと後退の余地が増すからである。それに対して、後退の程度を表す変数 $r(t)$ は $dr(t)/dt$ に負に比例する。というのは、後退の余地を減らすからである。係数 π は $r(t)$ から $p(t)$ への変換係数であり、係数 ρ は $p(t)$ から $r(t)$ に向けての係数である。またトレーニングの初めにおいては発達がないために $p(0) = 0$ 、 $r(0) = 1$ となる。従って、身体的なトレーニングの発達と後退の数学モデルは次の方程式で記述できる。

$$\frac{dp(t)}{dt} = \pi \cdot r(t) - \rho \cdot p(t), \quad p(0) = 0$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = -\pi \cdot r(t) + \rho \cdot p(t), \quad r(0) = 1$$

この方程式の解は次のように求められる.

$$p(t) = \frac{\pi}{\rho + \pi} \{1 - \pi \cdot e^{-(\rho + \pi)t}\}$$

$$r(t) = \frac{1}{\rho + \pi} \{\rho + \pi \cdot e^{-(\rho + \pi)t}\}$$

Figure 7 はこの解のグラフを示す.

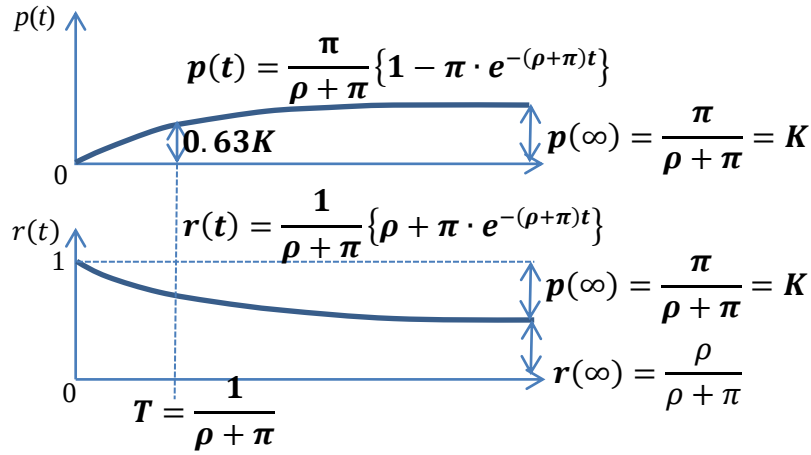


Fig. 7 トレーニング時間（回数）に対する発達と後退の特性

この解から

$$p(t) + r(t) = 1$$

が得られ, 発達の最終的な定常状態 K は $p(\infty)$ で与えられ, そして $0.63 \cdot p(\infty)$ に至るとトレーニング時間 T また発達スピード係数 π と後退スピード係数 ρ は次のように求まる.

$$K = p(\infty) = \frac{\pi}{\rho + \pi}, \quad T = \frac{1}{\rho + \pi} \text{ or } \pi = \frac{K}{T}, \quad \rho = \frac{1-K}{T}$$

Figure 7 に示す発達あるいは後退特性はトレーニング実験によって求まり, この実験の結果のから係数 K と T は抽出され π と ρ はこれらの係数から計算できる. これらの係数は, どれだけ効果的にとレーニンが行われたかを特徴づけることができる.

以上の身体トレーニング効果の数学モデルを習熟度曲線と呼ぶことにする.

また, トレーニング 1 回目のデータにおける習熟度曲線をグラフ化し, Figure 8 に示す. Figure 9 に同グループ 2 回目の場合を示す.

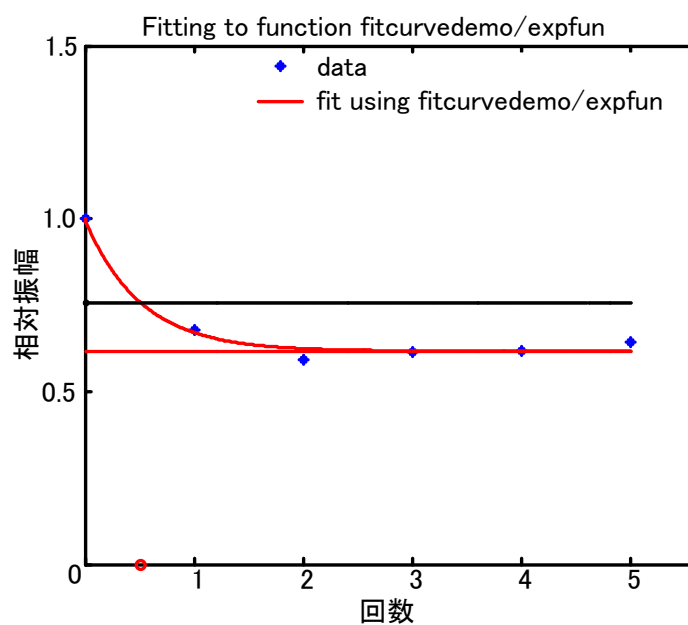


Fig. 8 1日目のトレーニングによる頭部の上下加速度における習熟度曲線の代表的な例

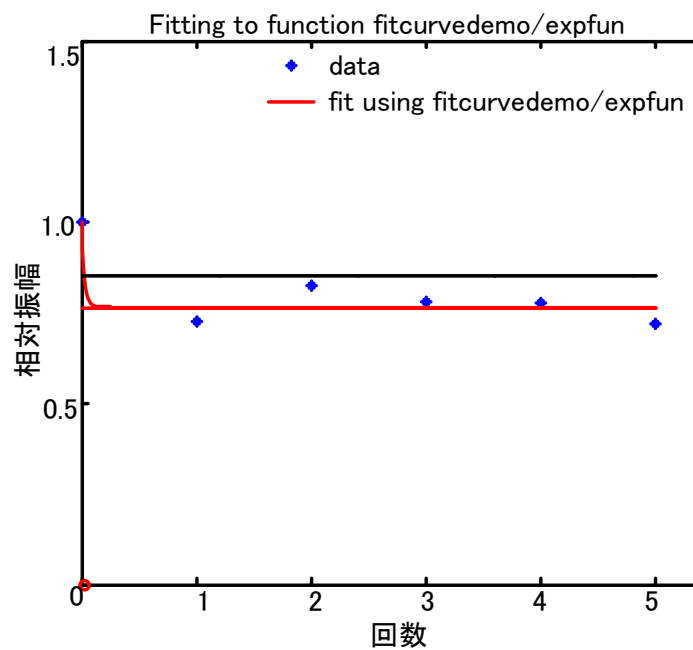


Fig. 9 2日目のトレーニングによる頭部の上下加速度における習熟度曲線の代表的な例

習熟度曲線と実際の相対振幅をプロットしたグラフの適合度を決定係数として求めた。そして習熟度曲線に著しく当てはまらないデータは排除した。その目安として、習熟度曲線の決定係数が0.1未満のものとした。また、習熟時間が5回より大きい数値のものも排除した。各10名で行った実験に対し、排除後残ったデータ数をTable 2に示す。これらのデータを用いて考察を行った。

Table 2 使用したデータ数

		1.5Hz	1.75Hz	2.0Hz
感覚	1日目	9/10	9/10	9/10
	2日目	6/10	6/10	5/10
聴覚	1日目	8/10	9/10	7/10
	2日目	9/10	9/10	8/10
視覚	1日目	8/10	7/10	8/10
	2日目	7/10	4/10	7/10

Table 3に習熟度曲線の決定係数の平均と標準偏差を示す。

Table 3 習熟度曲線の決定係数の平均と標準偏差

	決定係数		1.5Hz	1.75Hz	2.0Hz
感覚	1日目	平均	0.67	0.77	0.75
		標準偏差	0.34	0.18	0.13
	2日目	平均	0.87	0.70	0.73
		標準偏差	0.14	0.35	0.29
聴覚	1日目	平均	0.84	0.83	0.83
		標準偏差	0.22	0.16	0.20
	2日目	平均	0.90	0.90	0.91
		標準偏差	0.25	0.12	0.11
視覚	1日目	平均	0.58	0.78	0.54
		標準偏差	0.26	0.17	0.26
	2日目	平均	0.72	0.58	0.65
		標準偏差	0.34	0.19	0.32

Table 4にトレーニング1回目の習熟時間，定常状態，トレーニング2回目の定常状態を示す．数値後ろの括弧の中は，分散を示す．トレーニング2回目は1回目で学習したフォームを記憶していることが重要であるために習熟時間と発達係数はここでは示さない．

T : トレーニング1回目の習熟時間

K_1 : トレーニング1回目の定常状態

K_2 : トレーニング2回目の定常状態

Table 4 係数のまとめ

		1.5Hz	1.75Hz	2.0Hz
感覚	T	0.18 (± 0.23)	0.38(± 0.31)	0.43(± 0.41)
	K_1	0.22(± 0.12)	0.20(± 0.07)	0.17(± 0.06)
	K_2	0.24(± 0.10)	0.26(± 0.10)	0.26(± 0.10)
聴覚	T	0.68(± 0.40)	1.12(± 0.75)	1.21(± 1.17)
	K_1	0.41(± 0.16)	0.29(± 0.07)	0.25(± 0.16)
	K_2	0.36(± 0.18)	0.24(± 0.16)	0.33(± 0.15)
視覚	T	0.12(± 0.25)	0.34(± 0.36)	0.70(± 0.84)
	K_1	0.2(± 0.09)	0.19(± 0.07)	0.15(± 0.07)
	K_2	0.2(± 0.14)	0.07(± 0.15)	0.18(± 0.15)

どのトレーニングにおいても、周波数が大きくなるにつれて習熟時間は増加し、定常状態は減少している。これは、速い歩行のトレーニングは学習に時間がかかり、また困難であるということを意味する。トレーニング1日目の定常状態を比較すると、どの周波数においても、聴覚、感覚、視覚の順に成績がよいことが分かる。しかしながら、習熟時間を比較すると、1.5Hzと1.75Hzは、視覚、感覚、聴覚、2.0Hzでは、感覚、視覚、聴覚の順でスピードが速い。

トレーニング1日目の定常状態の成績が一番よい聴覚BFTであるが、どの周波数でも習熟時間が一番遅い。これは、感覚のトレーニングや視覚BFTでは、歩行を始めてすぐに頭部を上下させない歩行フォームが定着し、その後は学習をやめてしまっているということである。聴覚BFTは習熟に時間がかかっていることは悪いことではなく、トレーニング中に学習が続いているということである。結果的に、定常状態の成績は最もよい結果になっている。

トレーニング2日目の定常状態の値は、1日目の値に近いほど記憶が出来ていると考えることが出来る。感覚のトレーニングはどの周波数においても、2日目の成績のほうがよい。これは、2日目において新たな歩行フォームを学習したと言う可能性を排除できず、記憶が出来ていると言うには疑問が残る。同様に、聴覚BFTと視覚BFTの2.0Hzの実験でも、2回目の成績が1回目の成績より良いので、記憶が出来ていたと断言することは出来ない。しかしながら、2.0Hzのトレーニングは普段の歩行スピードよりかなり速いため、センサへの集中に加えて速く歩くと言う集中があり、スムーズな歩行が出来なかったことも考えられる。つまり2日目のトレーニングで、センサを装着せず早歩きをする方が、スムーズに歩行することができ、よい結果をもたらした可能性も排除できない。1.5Hzと1.75Hzの聴覚BFTでは2日目は1日目より0.05数値が下がっているが、0.36、0.24と高い数値を保つことが出来ている。1.5Hzの視覚BFTでは数値は変わらず0.2であり一見すると記憶できているように思える。しかし、1.75Hzのトレーニングは0.19から0.12下がり0.07であり、ゼロに近いことからほとんど学習効果がない。1.5Hzで記憶が出来ているにも関わらず、1.75Hzでは全く効果がないとは考えにくく、1.5Hzの定常状態の数値は偶然同じになったと考えるのが妥当だと考えられる。

● 微分制御の効果

聴覚 BF の場合、加速度センサは上下加速度を計測し、身体にフィードバックしている。加速度は、変位の 2 回微分、あるいは速度の 1 回微分であり、近い将来の上下変位の予想をヒトに知らせている。すなわち聴覚 BF は微分制御である。また、生物の視覚は敵からの防衛のため微分制御が優れている。どちらも微分制御が行われているが、視覚 BF の効果は小さい。

その理由として、聴覚 BF は音のオンオフによって BF しているのに対し、視覚 BF は一点

のレーザーを見つめるという連続性のある BF であることが原因と考えられる。ヒトは歩いているときに景色が上下しているか気にしない。それは同じものを見ていればそれと同じ方向に眼球が動き、上下の動きをオフする処理が脳内でなされるからである。つまり、レーザーポインターの上下の動きを無意識のうちにオフしていると考えられる。

人間の生理的現象として起こりうる以上のことを考慮したとき、BFT にもっとも効果的な方法は、視覚よりも聴覚に働きかけることであるという結論に達した。

第6章 終わりに

頭部を上下に動かさずに歩くという実際の運動の習得過程において、BFT の効果および BFT の記憶に与える影響を調べた。この理論に基づき、得られた頭部の上下加速度のデータを処理し、次のような結論が得られた。

- 1) トレーニングによる学習効果は、聴覚 BF ありの方が視覚 BF や BF なしよりも良い。
- 2) 聴覚 BFT は自己感覚のみに頼ったトレーニングよりも記憶に残りやすい。

本研究では BF が上下運動制御に及ぼす影響を、歩行という比較的単純な動作において検証した。今後は、比例制御、積分制御、微分制御を組み合わせ、更に効果的なモデルを構築していきたい。また、その効果的なモデルを用いて、テニス、ゴルフ、野球、サッカーといった一般のスポーツのコーチングへの応用についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 平井久, 廣田昭久: ストレス解消のバイオフィードバック. Jpn J. Sports Sci. 5: pp.355-359, 1986
- 2) 星野聡十ほか: バイオフィードバックのための射撃競技時の心拍数皮僻温の検討. 日本体育学会第44回大会号 A: p190, 1993
- 3) 堀野博幸山崎勝男: 全身運動時におけるEMGバイオフィードバックと筋統制. 日本体育学会第44回大会号 A: p.189, 1993
- 4) 市原信, 上田雅夫: 治療法としてのバイオフィードバック. Jpn. J. Sports Sci. 5: pp.383-388, 1986
- 5) 熊本水師: カヤックに対するバイオフィードバックトレーニングの適用に関する研究. 競技種目別競技向上に関する研究. 研究日本体育協会. 5: pp.369-379 1981.
- 6) Miller, N.E: Biofeedback and visceral learning. Ann. Rev. Psychol. 29: pp373-404, 1987
- 7) 永井嵐: 実用バイオフィードバック. Jpn. J. Sports Sci. 5: pp.352-354, 1986
- 8) 永田成, 大橋正春: バイオフィードバックトレーニングによるスキーリズム動作の変容. Jpn. J. Sports Sci. 5: pp.389-393, 1986
- 9) 西沢真一, 渡辺嘉二郎: 上下センサと運動に伴う動圧成分の解析. スポーツ産業学研究. 3: pp21-26 1993
- 10) 佐久間春夫: 脳波のバイオフィードバック. Jpn. J. Sports Sci. 5: pp.360-367, 1986

謝辞

本研究を進めるにあたり，渡辺嘉二郎教授，小林一行准教授，栗原陽介助教授にご指導頂いたことに深く感謝申し上げます。また，富士通株式会社の方々には，共同研究を通じ学習の機会を頂きました。心より感謝申し上げます。また，渡辺研究室の同期・後輩の皆様は実験の際に被験者を快く引き受けてくださり，そして多くのご指摘を下さいました。無事に卒業論文を書き終えることが出来ました。ありがとうございました。

最後に，いつも温かく見守ってくれた両親に深く感謝致します。

平成 25 年 2 月 28 日

天野 加奈子