

システムはVR用PC, 生体情報計測用PC, サイクリングチェアで構成される。計測は、サイクリングチェア部に搭載されたマイコンにより、トルク、ペダル角およびハンドル角が、生体情報計測用PCで心拍数、血圧等の生体情報がVR用PCに送られ、負荷の決定とそれに応じたシナリオ変更を行う。運動負荷は、サイクリングチェア側に搭載されたマイコンにより、負荷提示用モータを制御して行う。

## 2.2 リハビリシナリオ

意欲向上を促すため、スポーツの持つアミューズメント性を着目した。心拍数制御を導入し、提示負荷に連動してVR環境が変化するシナリオ構築のためのプロトタイプとして川くだりシナリオを作成した。

ユーザーは傾斜角や流速が変化する川をペダルを漕いで下り、ゴールを目指す(図2)。運動負荷は心拍数がカルボーネンの式により定めた目標心拍数に近づくようにPI制御により決定される。この時提示負荷にあわせて提示される川の傾斜角や流速が変化する。

VR空間はOpen GLベースのWTK(Sense8製)を用いて作成した。

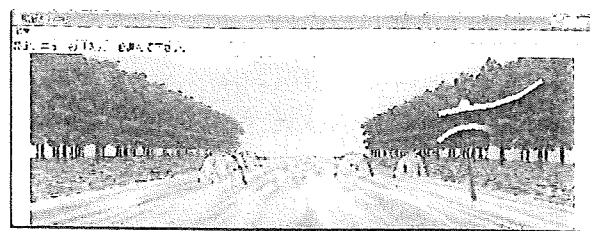


図2: VR川くだりシナリオ

## 3. 評価実験

被験者は健康者10名(男性9名, 女性1名)で平均年齢 $23 \pm 2.0$ 歳(22~28歳)である。

リハビリシナリオは3分間とし、ウォーミングアップおよびクールダウンとして前後に軽度の運動(仕事量15W, 2分間)を行った。また、比較のため、十分に時間をおいてから、軽度の運動を行わなかった場合も測定した。

計測する生体情報は耳朶脈波による心拍数およびフィナプレス式連続血圧計(BV製, PORTAPRES)による連続血圧である。

目標心拍数はカルボーネンの式( $k = 0.3$ )で設定した。

## 4. 結果および考察

30秒毎の平均心拍数, 平均収縮期血圧, 平均脈波伝播時間差(耳朶脈波-指尖脈波)の安静時を基準とした変化を図3に示す。シナリオ実行中の心拍数は、いずれの被験者においても安定して目標心拍数を維持できており、本システムの負荷制御が良好であったことを示している。

また、前後に軽度の運動を行うことによって、それぞれの区間における心拍数の変動が穏やかになっていることがわかる。

一方、収縮期血圧は準備運動の有無で運動負荷中の値に約10mmHgの差が見られた。このことは、安全な運動療法において準備運動が重要であることを示しているばかりでなく、心拍数制御のみでは、このような血圧上昇を検出・抑制することが困難であること示している。すなわち、より安全なリハビリのためにはこのような血圧上昇を考慮する必要がある。

しかし、連続血圧を計測することは、現在のところ、高価かつ大掛かりな計測装置が必要であるため、リハビリ機器に導入することは困難である。簡単に計測できる脈波伝播時間は血圧と逆相関することが知られており、これを血圧の代用とすることも考えられる。しかし、本実験では、両者に弱い逆相関が見られたものの、収縮期血圧で見られた準備運動の有無による差は観察できなかった。

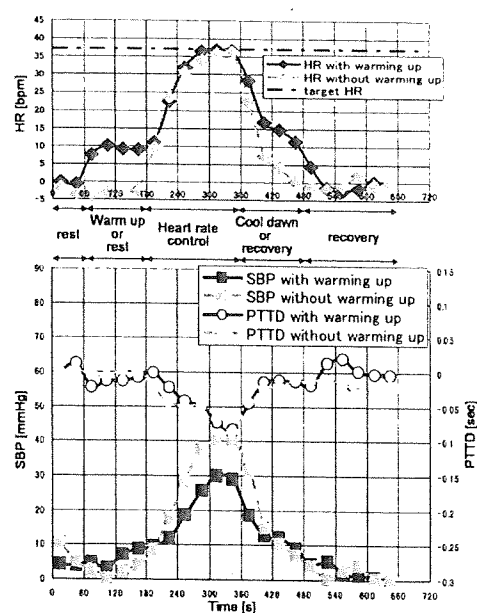


図3: シナリオ実行中の生体情報の変化

## 5. 終わりに

本研究では、心拍数フィードバックにより決定した負荷に連動してVR環境が変化する川くだりシナリオを作成した。シナリオが連動する心拍数制御は実現できたものの、心拍数制御のみでは抑制困難な血圧上昇が観測された。今後は、血圧制御のためのプロトコルを具体的に構築するとともに、脈波伝播時間を用いた血圧制御を検討し、より安全で手軽に運動療法を行えるシステムの構築が必要であると考えられる。

### 参考文献

- [1] 三好春樹: 遊びリテーション学, 雲母書房, 1999
- [2] T Kawada, Y Ikeda, H Takaki, M Sugimachi, O Kawaguchi, T Shishido, T Sato, W Matsuura, H Miyano, and K sunagawa: Development of a servo-controller of heart rate using a cycle ergometer, Heart Vessels, Vol.14, No.4, pp.177-184, 1999.

