

眼球運動機能を指標とした HMD 評価の試み 仮想現実環境評価への第一歩

板東武彦*・長谷部 日**・小山田 浩***・戸田春男*・鶴飼一彦****

* 新潟大学 医学部 生理学教室

〒951 新潟市旭町 1-757

** 新潟大学 医学部 眼科

〒951 新潟市旭町 1-757

*** ソニー (株) 中央研究所

〒141 東京都品川区北品川 6-7-35

**** 北里大学 医学部 眼科

〒228 相模原市北里 1-15-1

1. 序論

仮想現実環境という語は提示された画像に観測者が干渉できることを意味すると考えられる。そういう意味では、我々は仮想現実環境を研究しているわけではない。しかし、仮想現実環境を実現するためのシステムには画像の提示装置が必須である。画像を提示するためのツールはいろいろあるが、その有力な1つがヘッドマウントディスプレイ (HMD) である。われわれは HMD の人体に対する影響を、視覚機能ならびに眼球運動機能を指標として調べた。HMD の人体に対する影響を研究するためには、種々の視覚刺激を与え、人体の応答を調べる必要がある。このかぎりでは仮想現実環境の人体に対する影響を調べるのと同様の手法を用いる。その意味で、本研究は仮想現実環境評価への第一歩である。なお、本研究は自律神経機能、内分泌機能などを含んだ大きな評価プロジェクトの一部である。

2. 方法

被験者には視差刺激を手がかりとしてスイッチ押しを行うタスクを約 25 分行って貰い、その後で焦点調節機能、AC/A 比、輻輳運動、

立体視機能について検査を行った。これを、比較することにより HMD の影響を評価した。既報の 2 次元画像刺激による研究¹⁾では焦点調節機能を中心にしたが、本研究ではさらに眼球運動・立体視機能の検査を付加したものである。

2.1 被験者

被験者は医学部学生・院生、延べ 10 名であった。年齢は 22 - 27 歳。なお、2 回テストを行った被験者が 3 人いる。いづれも軽い屈折異常以外には視機能、眼球運動などに障害がなかった。視力の矯正後に検査を行った。

2.2 検査手順

まず研究の目的、方法、危険性などについて説明し同意書にサインを貰い、次に問診、一般眼科検査を行った。角膜検査は眼球運動測定のため装着するコンタクトレンズ (眼コイルを封入²⁾) の安全性のチェックを兼ねた。焦点調節は赤外線オプトメータ (NIDEK, AA-2200) を用いて測り、調節安静位³⁾とステップ応答を調べた。立体視機能はチトマス (サークル) および TNO を用い、AC/A 比は大型弱視鏡を用い gradient 法により調べた。また視差ステップ変化に対する輻輳応答⁴⁾を調べた。両眼の眼球運動は magnetic search coil 法により測定した。眼

コイル装着後、再び視力の矯正を行った。

視覚刺激は、2面式液晶HMD（バイザトロン、ソニー、図1）を用いて、フィールド順次式に両眼視差を与えることにより行った。刺激パターンは細いバーで、視差刺激により奥行き方向へ動くように見える。視差刺激は、0.7、1.5、3、6度の4種類を各々、15回ずつ連続で2秒間隔で与えて測定した。これらの検査を、視差刺激を手がかりとしたスイッチ押しタスクの前後で行い、比較した。

校正はバイザトロン上の視標・外部視標の一定の動きに対するサッケード振幅により行った。若干の実験ではバイザトロンなしでの校正を併せて行った。Magnetic Search Coil法とバイザトロンの併用による相互干渉はみられなかった。

2.3 タスク

タスクの概略は次の通り（図2）。画面には細いバーと枠が眼前から仮想的に2メートルの所に表示される。視差刺激はパーソナルコンピュータにより制御した。被験者はこのバーの動きをよく見ているように指示された。

次にバーがステップ状に特定の位置まで接近する（目標点）。目標点は3ヵ所のうちからランダムに選ばれた。バーは3秒間静止してから最初の位置へ戻る。3秒後、バーが今度はほぼ等速度で接近する。3種類の速度のランプ運動およびステップ運動の計4種類の刺激速度のうちから1つがランダムに選ばれた。

被験者は視標が目標点に達したところで手元のスイッチを押すように予め指示され、若干の練習をした。スイッチ押しのタイミングの正確さはbeep音の高さでフィードバックされた。タスクは120試行、約25分つづけた。

3. 結果

3.1 タスク実行中の眼球運動

タスク中の運動分析から、被験者は忠実に視標を眼球運動により追尾したことが示された。その詳細については、別の機会に発表する。

3.2 タスク前後での視覚機能・眼球運動機能の比較

タスク前後で屈折（図3）、調節安静位、AC/A比（図4）、立体視機能、輻輳運動（図



図1 バイザトロン。眼鏡をかけたまま使用できるため、ピント調節機能はない。See through型。イヤホンつきであるが、タスク中には使用していない。右端の線はコントロールボックスにつながる。

5) を比較した。いずれのパラメータについても、多数例ではタスク前後で差がみられなかった。しかし、個人差が大きいパラメータが多く、タスク前後で有意差がみられた例も少数ながらみられた。

全体をプールした平均値で有意差がみられた

パラメータは輻輳運動ピーク速度の標準偏差のみであった(3.3 参照)。しかし、若干のパラメータについては、集団として一定の変化傾向がみられた。たとえば AC/A 比は全体として増加傾向がみられた。ただし、平均値としては有意差はみとめられなかった。

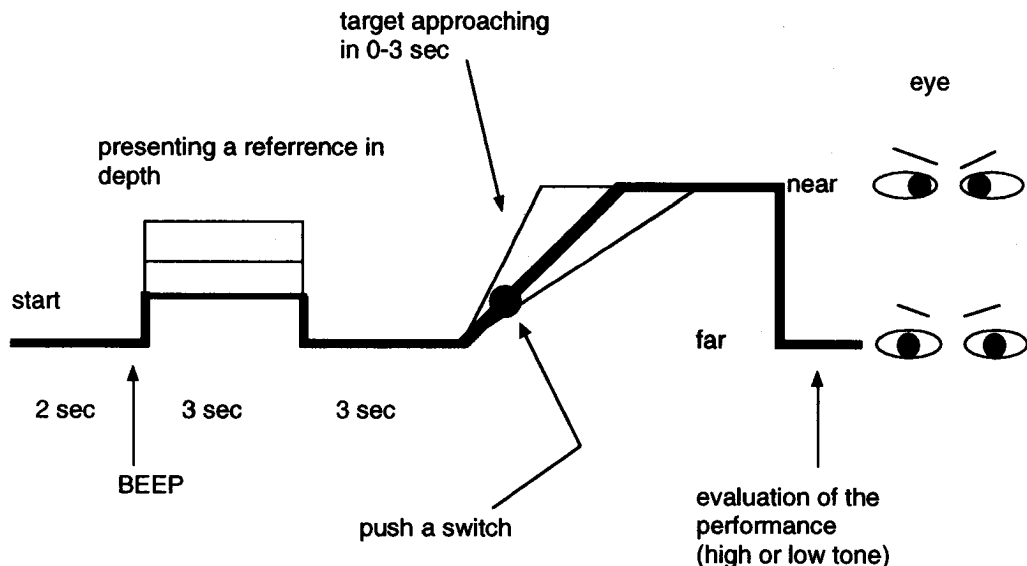


図2 タスクの概略。説明は本文を参照。目標点はランダムに3カ所(眼前から1000, 1250, 1500 mm)のうちから1カ所が決められ、速度は500, 1000, 1500 mm/sのうち1つ、あるいはステップ刺激がランダムに決められた。バーの長さは視差に応じて変化させた。

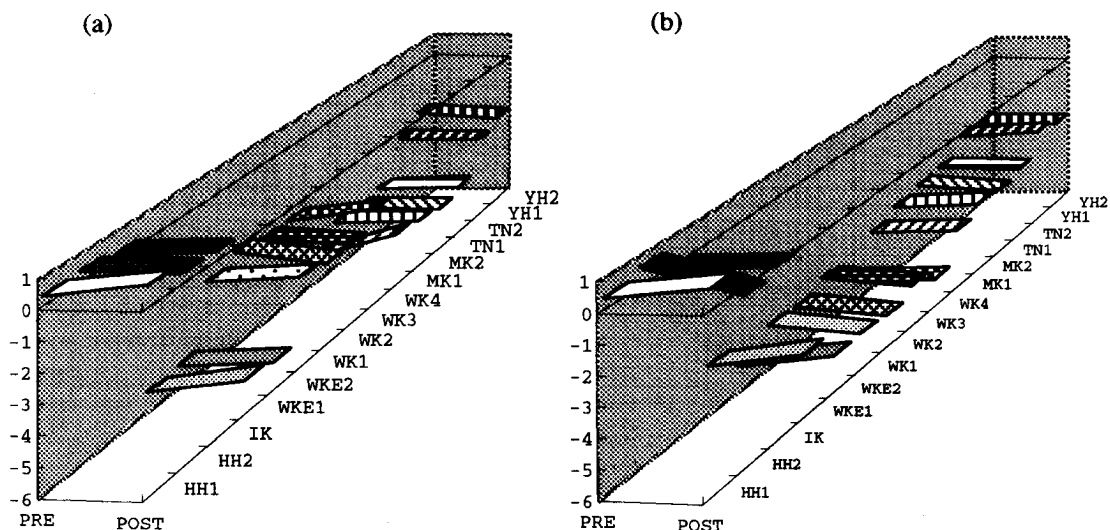


図3 屈折の変化。(a) 右眼, (b) 左眼。タスク前 (PRE)・後 (POST) の屈折 (S+C/2) を示す。有意差はない。横軸のアルファベットは被験者を示す記号。

3.3 輻輳運動ピーク速度の標準偏差の比較

最も変化したパラメータは輻輳運動速度の標準偏差であり、集団全体をプールするとタスク後に減少した。ただし、個人差が大きく、変化

方向は一定しなかった(図6)。同一人で繰り返し検査を行っても、標準偏差の変化方向が一定しなかったことから、この程度の変化は生理的変動の範囲内であることが示唆された。

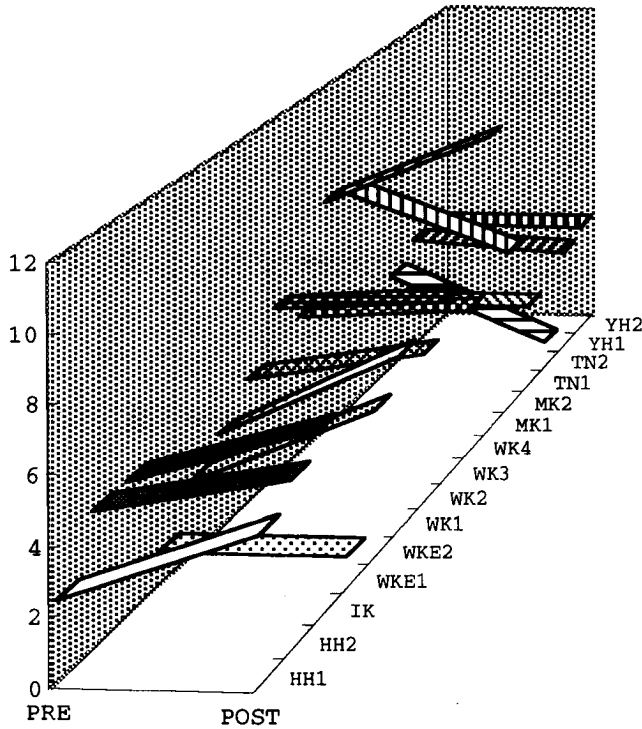


図4 AC/A比の変化。個人差が大きいが、全体としては有意差はみられない。本文参照。

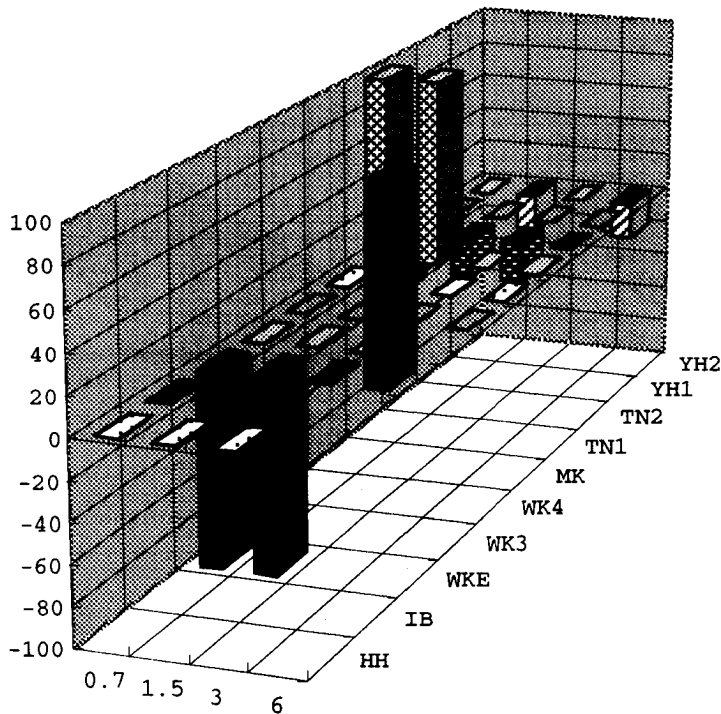


図5 視差ステップ刺激に対する輻輳運動のピーク速度。縦軸はタスク前後の有意水準の逆数(1%の場合が100, 5%の場合が20)。横軸はステップ視差刺激の大きさ、および被験者を示す記号。個人差が大きいが、変化を示さない場合の方が多い。集団全体として一定の変化傾向はみられない。全体をプールすると有意差がみられない。なお、輻輳の振幅にはタスク前後でほとんど差がみられない。視差が大きくなると輻輳ができない被験者が少数いるが、タスクの前後で特に変化はみられない。

4. 結論と考察

以上のように 25 分程度の比較的単純な視差刺激/スイッチ押しタスクを行って、その前後で屈折・焦点調節機能、輻輳運動のステップ特性、立体視機能を比較したが特に顕著な変化はみられなかった。ただし、個人差が大きいことには注意を払う必要がある。安全性のガイドラインを作成する場合には少数の特別例に配慮が必要であろう。

われわれの検査で大きな変化が得られなかったことについてはいくつかの問題がありうる。第1に、検査項目の選択が不適切だった可能性がある。しかし、本研究の検査項目の妥当性は VDT 症候群の分析結果から支持される。ディスプレイの長期連続使用により眼精疲労・自律神経症状などを生じた VDT 症候群の場合には、調節機能など視覚・眼球運動機能の変化が鋭敏なパラメータであった^{3,5,7)}。第2に、検査項目は妥当であったが、与えた負荷の強さが不十分だった可能性がある。しかし、本タスクはかなりの集中を必要とし、25分の負荷はかなりの主観的な疲労を招く。このことは口頭による

アンケート調査で確かめている。第3に、タスク実行中の記録の解析により学習効果がみられたことから、練習効果による検査パラメータの改善、疲労による増悪が互いにキャンセルしている可能性がある。この点については、タスク実行中の眼球運動等生体応答についてさらに分析を進める過程で明らかとなろう。第4に、長期反復負荷が重要な変化を与えるかもしれない。この点については検査することが困難であるが、将来の研究に待ちたい。第5に、我々の検査では顎を顎台にのせ、顎をプラスチックの額支えで安定化することにより、頭の動きを強く制限している。したがって、頭の動きがある場合については別途検査を行う必要がある。ただし、若干のゲームソフトについての予備的な検査では大きな頭部運動は意外にみられなかった。考えて見ると、日常生活でも速く大きな頭部運動が起こることは多くはないであろう。

仮想現実環境が人体に与える影響としては、仮想現実環境と画像観察者との間の干渉の仕方が最も大きな問題を持つと考えられる。すなわち、仮想現実環境を実現するためのコンピュー

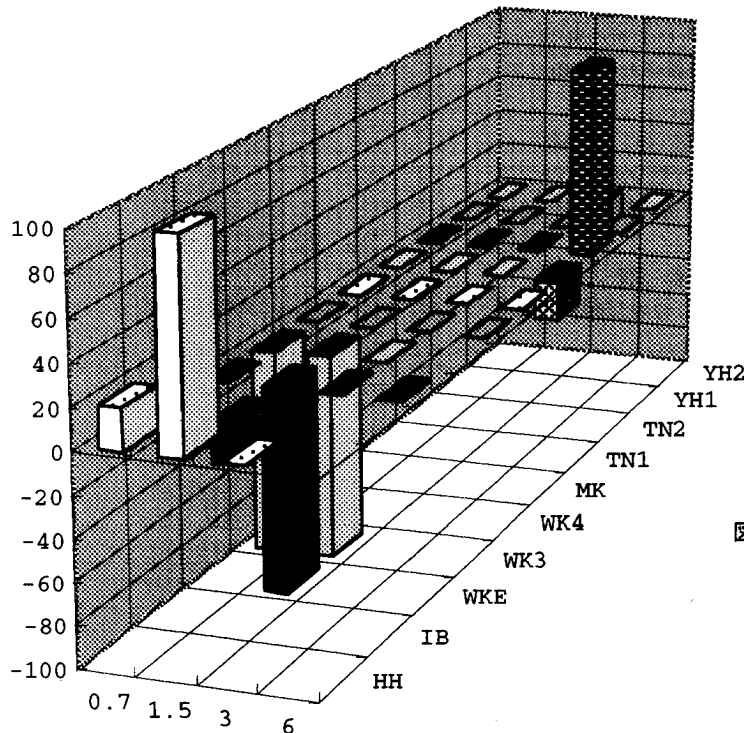


図6 輻輳ピーク速度の標準偏差の変化。縦軸・横軸は図5と同様。本文参照。

タシステムのハード・ソフト両面での特性が問題になる。ハードの特性が劣っていると、環境と自己の間の関係が現実のものとは異なってくる（例えば微妙に遅れる）ので、慣れない妙な空間に適応することを強制され、強い生体反応を引き起こす。万一、うまく適応できてしまうと、今度はその非現実的な適応のため、日常生活に不都合を生じることにもなる。ハードが高性能になるとともに、ソフトに問題が絞られてくる。ソフトの問題には、われわれが人体の視覚機能を十分に理解していないことも反映されよう。このような理解を増進するための視覚学会の意義は今後ますます大きくなってくるとともに、その責任も増大してくることになる。

最後に、この研究は一部、日産科学振興財団の学術研究助成をうけたことを記し、謝辞とする。

文 献

- 1) 原 直人, 高木峰夫, 板東武彦, 小山田 浩, 大西志保, 日下部正宏: 二面式液晶表示装置使用前後の視機能比較. *視覚の科学*, **14**, 82-87, 1993.
- 2) 高木峰夫, 長谷川 茂, 白井知聡, 阿部春樹, 水谷 潤, 土井伸光: Magnetic Search Coil 法に用いるコンタクトレンズの考案. *日本眼科紀要*, **43**, 814-821, 1992.
- 3) 土屋邦彦, 青木 繁, 石川 哲, 鶴飼一彦, 伊藤幸江, 岸田千穂子: VDT作業による調節安静位の変動と自律神経機能について. *日本の眼科*, **61**, 1322-1323, 1990.
- 4) 山田徹人, 鶴飼一彦, 石川 哲: 輻輳・開散ステップ応答の指数関数近似による解析. *日本眼科学会雑誌*, **93**, 859-864, 1989.
- 5) 石川 哲 (編): VDT医学マニュアル. 金原出版, 1989.
- 6) D. A. Owens and K. Wolf-Kelly: Near work, visual fatigue and variations of oculomotor tonus. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **28**, 743-749, 1987.
- 7) D. L. Ehrlich: Near vision stress: vergence adaptation and accommodative fatigue. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **7**, 353-357, 1987.