

3次元映像の生体への影響：総合評価

板東 武彦

新潟大学 医学部 生理学教室

〒951-8510 新潟市旭町通 1-757

1. 序論

映像を視聴前後および視聴中に視機能、自律神経機能について複数の生体変数の同時計測を系統的に行った。複数の身体パラメータを同時計測する研究は今後の「映像刺激が与える生体影響についての評価研究」の主流になるべきと考えているので、その解析方法の1つについてここで述べたい。なお、この研究は機械システム振興協会から日本電子機械工業会に委託された「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ」の中でおこなわれたり。

映像刺激前後の主観調査、身体パラメータ比較により差がみられた検査項目はアンケート調査、瞳孔運動、眼球運動（回旋）、心拍・血圧リズム（RR間隔の揺らぎ、および拡張期血圧リズム）であった。これらの変化が直ちに生体にとって有害な影響を表すものではなく、その具体的な意義については今後の注意深い評価研究が必要であることをここに特記したい。

2. 方法

2.1 生理指標の測定

瞳孔（瞳孔面積、対光反射）・眼球運動（輻輳運動、回旋運動）はヘッドマウント・光学型の瞳孔・眼球運動計測装置により連続測定した²⁴⁾。本装置（新たに上記フィージビリティスタディの枠内で鶴飼らが開発）は市販のHMD（ソニー社製、グラスロン）を2台組み込み、視覚刺激を与えながら、ピル

トインされた2台のビデオカメラにより光学的に両眼眼球の撮影を行なうものである。同様にこのHMDの特殊仕様のもを用いて、眼球運動計と組み合わせ、立体映像提示と眼球運動測定を同時に行う研究は他にもあるが⁵⁻⁸⁾、本装置の特色は両眼の回旋運動が測定可能なことである。身体パラメータのうち、循環器パラメータとしては心電図、血圧（トノメトリー：日本コーリン製）、胸部インピーダンス、呼吸、一拍毎の心室容量変化（心超音波断層法、ビューレットパッカード製）を連続記録した⁹⁻¹²⁾。また頭部運動を光学的にモニタした。主観的な体調調査の目的でアンケート調査を行なった。アンケートは鶴飼らが主成分分析により絞り込んだ10項目を7点式で被験者が主観評価するもので、映像視聴前後で被験者に記入を依頼した⁴⁾。

2.2 データ解析

これらのデータ解析については本号の鶴飼⁴⁾、吉澤¹⁰⁾の項を参照していただきたい。本稿では、これら複数パラメータ間の相互関係をピアソンの2変数相関（SPSS, 9.0J for windowsによる）を逐次計算することにより解析を試みた結果について述べる¹²⁾。

2.3 視覚刺激

視覚刺激はビジュアルサイエンス社製のThe 3D world, 3D Dinosaursを許可を得て（工業技術院生命工学工業技術研究所、斉田部長）用いた。4分の立体CG映像（RSSバイノーラル立体音響）であるが、最初の部分を繰り返し視聴することにより5分の映像刺

激を与えた。映像の前後に眼球運動のキャリブレーション映像（約1分）を加えている。同一映像を平面的（2D）あるいは立体的（3D）に提示した³⁾。このソフトは与えられている両眼視差が大きい割には、身体的な不具合が少ない映像であった。

映像は、大型スクリーン投影とHMDを用いる提示との2つの方法を用いて提示した。80インチスクリーンへの投影（フロントプロジェクション）は、3Dの場合は2台の液晶プロジェクター（236万画素、1024×768×3

板、偏光フィルターなしで550 ANSIルーメン）を用い、プロジェクターに偏光フィルターを装着するとともに被験者が偏光眼鏡をかける方式で両眼視差を与えた（三洋電機製）。被験者の視距離は2.2mで、画角は40度であった。HMDによる映像提示は瞳孔・眼球運動計測装置に組み込まれた左右独立入力可能な2面式HMD（3Dの場合は両眼視差を与える）によった。HMDは画素数約18万、画角は水平約30度、垂直約20度、設定像面距離2m、両眼画枠の輻輳角は2m角で

表1 HMDを用いて2D/3D映像刺激を与えた場合の結果

2D映像にひきつづいて3D映像を与えた実験のまとめ

HMD	被験者	01	02	03	04	05					
	2D/3Dの別	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	アンケート合計点変化	-6	1	-2	2	1	-5	-1	-2	-9	-1
	恐竜回転回旋（計算結果主観：3が強い）	0	0	1	3	1	3	1	2	1	1
	瞳孔（post-pre/pre）値（%増減）	16	0	-9	3	9	-3	-0	-3	3	3
	心拍リズム LF（%増減）	41	-64	78	-3	50	-31	136	68	-13	53
	心拍リズム LF/HF（%増減）	87	-46	55	22	39	8	138	108	-40	-41
	拡張期血圧リズム LF（%増減）	59	-24	-51	-90	40	-79	-79	71	27	-53
	拡張期血圧リズム LF/HF（%増減）	-51	-53	-27	-69	-41	5	66	125	-8	-60

3D映像に引き続いて2D映像を与えた実験のまとめ

HMD	被験者	06	07	08	09	10					
	2D/3D	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
	アンケート合計点変化	-6	9	8	0	3	-2	-2	-1	-3	-3
	恐竜回転回旋（計算結果主観：3が強い）	1	3	1	1	3	1	1	1	3	3
	瞳孔（post-pre/pre）値（%増減）	3	-0	-0	6	-5	5	0	3	6	-3
	心拍リズム LF（%）	-26	-4	-16	-20	-39	11	-2	14	66	35
	心拍リズム LF/HF（%）	66	109	-38	5	-54	-11	-33	22	519	265
	拡張期血圧リズム LF（%）	2	-79	-16	0	-1	53	-82	26	39	57
	拡張期血圧リズム LF/HF（%）	12	-23	-57	141	18	-60	20	-16	2	-18

あった。

これらの装置により、同一映像の2D/3D提示の比較と、スクリーン投影/HMD提示の比較を組み合わせで行なった。2D/3D比較は同一被験者について、同じ日にランダムな順序で行なった(表1, 表2参照)。HMDを用いた検査とスクリーン投影による検査を受けた被験者のうち、半数は共通であったが、残りの半数は各々別の被験者であった。共通の被験者の場合は、HMDとスクリーン投影はほぼ1ヶ月の間隔で別の日に行なった。

3. 結果

刺激の与え方により次の4つに分類して結

果を示すことにする(表1-3)。

(1) HMDによる2D映像提示

アンケート結果と回旋運動(映像中で恐竜が回転する映像があり、眼球がこれに伴って回旋をした)の間に有意な正相関、アンケートと血圧リズム(拡張期LF成分)の間に有意の負の相関がみられた。血圧リズム(拡張期, LF成分)は瞳孔変化と、心拍リズム(LF/HF成分)は回旋運動変化と有意の正相関を持った。

(2) HMDによる3D映像提示

心拍リズム(LF/HF成分)と瞳孔変化の間に有意の正相関がみられた。

(3) スクリーン投影による2D映像提示

表2 大画面スクリーン投影により2D/3D映像を与えた場合の結果

2D映像にひきつづいて3D映像を与えた実験

screen	被験者	01	02	03	04	05					
	2D/3D	2	3	2	3	2	3	2	3		
	アンケート合計点変化	2	-7	0	-3	-12	-10	-3	0	0	-2
	恐竜回転回旋(ビデオ主観:3が強い)	3	3	1	1	2	1	1	2	2	2
	瞳孔((post-pre)/pre)値(%増減)	-4	0	-16	5	-11	3	0	7	-8	0
	心拍リズム LF(%)	9.6	-79	17	66	-26	-13	-32	-42	-17	-47
	心拍リズム LF/HF(%)	66	42	115	149	-3	50	0	-39	133	-22
	拡張期血圧リズム LF(%)	21	39	62	96	-7	-9	-9	-43	-38	-66
	拡張期血圧リズム LF/HF(%)	-27	-17	124	138	-33	9	-21	-44	30	-47

3D映像に引き続いて2D映像を与えた実験

screen	被験者	11	12	13	14	15					
	2D/3D	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
	アンケート合計点変化	1	1	-8	-12	0	-3	0	-9	-9	-14
	恐竜回転回旋(ビデオ主観:3が強い)	3	1	2	2	1	0	3	2	2	2
	瞳孔((post-pre)/pre)値(%増減)	-5	9	3	4	7	0	0	3	-3	3
	心拍リズム LF(%)	100	105		32	62	69	0.8	-50	-10	
	心拍リズム LF/HF(%)	100	89		-19	-10	153	133	-34	11	
	拡張期血圧リズム LF(%)	-43	133		139	22	15	20	-33	-33	
	拡張期血圧リズム LF/HF(%)	-42	49		21	-39	13	45	10	-43	

心拍リズム (LF 成分) と回旋運動の間に負の相関傾向がみられたが、有意ではなかった。

(4) スクリーン投影による 3D 映像提示

アンケートと心拍リズム (LF 成分) の間に有意の正相関、回旋運動と瞳孔変化との間に有意の負相関がみられた。また、有意ではなかったが、血圧リズム (LF 成分) と瞳孔変化の間には正の相関傾向、拡張期血圧リズム (LF, LF/HF 成分) と回旋運動の間に負の相関傾向がみられた。2D・3Dを合わせて検

定を行うと、回旋運動と拡張期血圧 LF 成分の間に有意の負相関がみられたので、例数を増やせば、スクリーン投影による映像提示により、血圧リズムと瞳孔変化の間に有意な差が出たと思われる。

4. 考察

4.1 映像提示方法と生体影響

以上の結果は、映像提示手段、2D/3D 映像の別などにより生体影響の質が異なることを示唆する。言いかえると、「2D映像よ

表 3 相関関係の検定

1. 2D映像提示と3D映像提示の2群に分割 (各々n=10, n=9) して各群内で検定。

HMDによる映像提示 (2D/3D比較)

2D	アンケートと恐竜回転	相関係数	0.554, 有意確率	0.048
2D	アンケートとPmin,LF	相関係数	-0.565, 有意確率	0.044
2D	恐竜回転とRRI,LF/HF成分	相関係数	0.608, 有意確率	0.031
3D	瞳孔とRRI,LF/HF	相関係数	0.561, 有意確率	0.046
2D	瞳孔とPmin,LF	相関係数	0.560, 有意確率	0.046
3D	RRI,LFとRRI, LF/HF	相関係数	0.592, 有意確率	0.036
3D	Pmin,LFとPmin,LF/HF	相関係数	0.610, 有意確率	0.030

Projectionによる映像提示 (2D/3D比較)

3D	アンケートとRRI,LF	相関係数	0.572, 有意確率	0.054
3D	恐竜回転と瞳孔	相関係数	-0.68, 有意確率	0.022
3D	RRI,LFとRRI,LF/HF	相関係数	0.728, 有意確率	0.013
2D	RRI,LFとPmin,LF	相関係数	0.845, 有意確率	0.002
2D	RRI,LF/HFとPmin,LF/HF	相関係数	0.795, 有意確率	0.005
3D	Pmin,LFとLF/HF	相関係数	0.686, 有意確率	0.021

2. HMDとprojectionの2群に分割 (各々n=20, 18) して各群内で検定。

projection	アンケートとRRI,LF	相関係数	0.469, 有意確率	0.025
HMD	恐竜回転と瞳孔	相関係数	-0.378, 有意確率	0.050
HMD	恐竜回転とRRI,LF/HF	相関係数	0.432, 有意確率	0.028
Projection	恐竜回転とPmin,LF	相関係数	-0.408, 有意確率	0.047
HMD	瞳孔とPmin,LF	相関係数	0.388, 有意確率	0.046
HMD	RRI,LFとRRI,LF/HF	相関係数	0.496, 有意確率	0.013
Projection	RRI,LFとRRI,LF/HF	相関係数	0.518, 有意確率	0.014
Projection	RRI,LFとPmin,LF	相関係数	0.492, 有意確率	0.019
Projection	RRI,LF/HFとPmin,LF/HF	相関係数	0.639, 有意確率	0.002
Projection	Pmin,LFとPmin,LF/HF	相関係数	0.617, 有意確率	0.003

3. 全データを一括して検定 (n=38)。

恐竜回転と瞳孔	相関係数	-0.292, 有意確率	0.034
恐竜回転とRRI,LF/HF	相関係数	0.351, 有意確率	0.015
瞳孔とPmin,LF	相関係数	0.292, 有意確率	0.038
RRI,LFとRRI,LF/HF	相関係数	0.472, 有意確率	0.001
RRI,LFとPmin,LF	相関係数	0.277, 有意確率	0.046
RRI,LF/HFとPmin,LF/HF	相関係数	0.271, 有意確率	0.050

表1および表2のアンケートならびに各生体変量についてPearsonの2変量相関検定 (片側検定) を行った結果、有意確率がほぼ0.05以下のものを示す。なお、アンケートは増悪の時に負の値が大きく、快適の場合に正の値が大きくなる。

りも3D映像が生体に強く影響する」のではなく、「2D映像と3D映像は異なる生体機能に影響を与える」ということになる。但し、予備実験を含めて、延べ60人について評価を行ったが、HMD/スクリーン投影、2D映像/3D映像という複数の条件について実験すると、1群が10人程度になってしまった。本格的に映像の生体影響を評価するためには、大規模な評価研究が必要であろう。

アンケートによる主観的評価、客観的身体パラメータ変化の測定など個々の要因による生体影響評価も大事であるが、複数のパラメータがばらばらではなく、互いに相関を持って変化した場合の方が生体影響という観点からは重大な結果を招くと考えられる。ここでは、以上の生体要因間の相関について分析した。予備的な結果ではあるが、HMDを用いると2D・3D映像のいずれを用いても、評価項目間に相関がみられたが、スクリーン投影の場合には、3D映像を視聴した場合にのみ評価項目間の相関がみられた。すなわち、2D映像のスクリーン投影は生体影響が比較的少ないと考えられる。

一方、映像提示方法、2D/3D映像の差などの如何を問わずに、一般的な生体影響について検討するために、2D/3Dの区別をせずに、HMDとスクリーン投影を比較した。こうすると、HMDでは回旋眼球運動・瞳孔変化間に負相関、回旋眼球運動・心拍リズム(LF/HF成分)間に正相関がみられた。スクリーン投影の場合には回旋眼球運動と拡張期血圧リズム(LF成分)との間に有意の負相関がみられた。さらに全部のデータを一括して生体変量間の相関をみると、回旋眼球運動と瞳孔間に負相関、回旋眼球運動と心拍リズム(LF/HF成分)間に正相関がみられた。瞳孔変化は拡張期血圧(LF成分)と正の相関を持つ。

4.2 映像提示が自律神経状態に与える影響

これらの身体パラメータ変化の持つ意味を自律神経機能についての知識を背景として解

釈すると次のようになる。HMDを用いた2D映像提示の場合にはアンケートによる主観評価が増悪する状態で瞳孔が散大し、血圧リズムLF成分が増加することから交感神経優位であることが分かる。交感神経優位の状態は良い意味でも悪い意味でも緊急事態に直面して身体が活性化された状態ということが出来る。回旋運動が小さくなってことから画面の動きには十分に追従していない。しかし、これが画面の動きに追従する能力が不足しているのか、画面への没入感の不十分さを表すのかは明らかでない。

HMDを用いた3D映像提示の際の生体応答データからは、アンケートとの相関ははっきりしないものの、交感・副交感神経系を通して自律神経機能が亢進していることが窺える。

スクリーン投影の場合には、2D映像ではほとんど影響がみられない。3D映像視聴後には、主観評価が上がった状態に対応して副交感神経優位の状態になっており、一方、回旋運動の解析からは画面を十分にフォローしていると考えられる。十分に気合が入って画面を楽しんでいるように見える。

これらの相関関係で表現される要因はダイナミックな映像提示自体が生体に与えるものであると考えられる。特に、映像中で視覚対象(恐竜)が3次元的に回転する時点での回旋眼球運動の程度と心拍リズム、瞳孔変化が相関を持つことは興味深い。

一般に、交感神経系と副交感神経系は互いに拮抗することが知られているが、近年に至って各臓器により拮抗の仕方が大きく異なることも知られるようになった(自律神経の地域性応答)。これらの点を考慮すると、本実験結果の解釈は複雑になるが、いずれにせよ交感神経緊張状態(良い意味でも悪い意味でも興奮状態)、副交感神経緊張状態(安静状態)が各々存在するとともに、交感・副交感神経がともに緊張状態(おそらく興奮的な状態であるが、心理的に安心して楽しんでい

る状態)にあることも示唆される。特にスクリーン投影による3D映像視聴の際にはこの快い緊張状態に入れるかどうかによって被験者の主観評価が大きく変わると考えられる。言い換えると、本実験のように種々の計測装置をつけ、何人もの検者がいるなかで映像を視聴することは、一般にそう楽しいことではない。それにも関わらずに多くの被験者が楽しめるだけの映像効果がスクリーン投影の場合には存在したということでもある。HMDの場合も同様な推測が可能である。2D映像では、実験に伴う種々の不具合が気になりナーバスになり、交感神経緊張状態になっているが、3D映像ではそこそこに楽しめる要因があり、交感神経・副交感神経系の双方が緊張状態になり、心地よい緊張状態を楽しめるに至ったのかもしれない。

謝辞

本研究は機械システム振興協会から日本電子機械工業会に委託された「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィジビリティスタディ」の中で行なわれた。本研究を可能とした機械システム振興協会、日本自転車振興会からの援助に深く感謝するとともに、通商産業省のご支援に感謝したい。

また、多くのご協力をいただいた日本電子機械工業会に感謝したい。個人的な面では種々の便宜を図っていただいた日本電子工業会の小岩忠夫、末永則雄の両氏、さらに事務処理、日程調整、報告書作成等の多彩な面について献身的な協力をいただいたユースタッフの君島美智子、奥村裕子の両氏に感謝したい。

また、本スタディに参加した企業メンバーの献身的な協力に感謝したい。何人かのメンバーには快く被験者になっていただいたことを付記したい。

本研究はこれらの多くの支援・協力の上に

はじめて、成立したものである。

文 献

- 1) (財) 機械システム振興協会 (編) : 「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィジビリティスタディ」報告書。(財) 機械システム振興協会、(社) 日本電子機械工業会、1999.
- 2) 石川則夫, 保坂栄弘, 園田重昭, 矢野澄夫: めまい検査システムの改良: 新しいハーフミラー型眼球回旋撮影装置. 第38回日本ME学会大会論文集, 1999
- 3) 鶴飼一彦, 田中誠一: 映像表示システム. 機械システム振興協会報告書⁹⁾, 9-20, 1999.
- 4) 鶴飼一彦: 3次元映像の生体への影響: 視機能への影響. *VISION*, 12, 5-14, 1999.
- 5) 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.
- 6) H. Hasebe, H. Oyamada, K. Ukai, H. Toda and T. Bando: Changes in oculomotor functions before and after loading of a 3-D visually-guided task by using a head-mounted display. *Ergonomics*, 39, 1330-1343, 1996.
- 7) 原 直人, 鶴飼一彦, 石川 哲, 高木峰夫, 板東武彦, 小山田 浩: ヘッドマウントディスプレイの数時間連続使用による屈折・調節・輻輳機能の変化. *日本眼科学会雑誌*, 100, 535-540, 1996.
- 8) H. Hasebe, H. Oyamada, S. Kinomura, R. Kawashima, Y. Ouchi, S. Nobezawa, H. Tsukada, E. Yoshikawa, K. Ukai, R. Takada, M. Takagi, H. Abe, H. Fukuda and T. Bando: Human cortical areas activated in relation to vergence eye movements: A PET study. *NeuroImage*, 10, 200-208, 1999.
- 9) 山家智之: 自律神経系計測システム. 機械システム振興協会報告書⁹⁾, 21-50, 1999.
- 10) 吉澤 誠: 3次元映像の生体への影響: 循環器機能への影響. *VISION*, 12, 15-23, 1999.
- 11) 吉澤 誠: 総合評価実験. 機械システム振興協会報告書⁹⁾, 51-74, 1999.
- 12) 吉澤 誠: 心拍, 血圧, 呼吸. 機械システム振興協会報告書⁹⁾, 75-99, 1999.
- 13) 板東武彦: 総合評価システムを用いた研究の総合的解析. 機械システム振興協会報告書⁹⁾, 233-248, 1999.