

「リアルビジョン」方式による疑似立体視効果の評価 (第1報)

山下樹里¹⁾、持丸正明¹⁾、山内康司¹⁾、福井幸男¹⁾、横山和則²⁾

1): 生命工学工業技術研究所 (〒305-8566 茨城県 つくば市 東 1-1)

E-mail: juli@nibh.go.jp

2): 土浦協同病院 耳鼻咽喉科 (〒300-0053 茨城県 土浦市 真鍋 新町 11-7)

E-mail: RA4K-YKYM@j.asahi-net.or.jp

ビデオ画像を左右にずらし、ディスプレイの画面より少し奥に見えるように両眼に呈示する「リアルビジョン」方式は、厳密には立体視ではないと考えられるにもかかわらず、奥行き感があり長時間見続けても疲労が少なく、通常のビデオ画像に比べて内視鏡手術での操作性が向上すると言われている。このリアルビジョン方式による疑似立体視効果を評価するため、奥行き知覚・操作性について心理物理実験を、また同時にアンケートによる官能検査を行い、通常のビデオ画像と比較した。その結果、心理物理実験では両者に有意な差は見られなかったが、官能検査で「奥行き感」などに有意差が見られ、心理的な効果に差があることが確かめられた。

キーワード：リアルビジョン、立体内視鏡、奥行き知覚

Evaluation of Pseudo Stereoscopic Effect by "RealVision" (1)

Juli YAMASHITA¹⁾, Masaaki MOCHIMARU¹⁾, Yasushi YAMAUCHI¹⁾,
Yukio FUKUI¹⁾, and Kazunori YOKOYAMA²⁾

1): National Institute of Bioscience and Human-Technology (1-1, Higashi, Tsukuba
305-8566, Japan)

2): Department of Otorhinolaryngology, Tsuchiura Kyodo Hospital (11-7, Shinmachi,
Manabe, Tsuchiura 300-0053, Japan)

"RealVision" is said to give a pseudo stereoscopic effect by adding a constant binocular parallax to a monocular video image. The effect is not a true stereoscopy, however, surgeons who have used it in endoscopic surgery say that it gives good stereoscopic effect with much less fatigue than real 3D stereoscopic display. The authors conducted experiments to evaluate the effect. The results of psychophysical experiments showed no significant difference between RealVision and the conventional monocular video image, though, a few factors including "depth perception" in sensory evaluation tests gave significant differences.

Key Words: RealVision, stereoscopic endoscope, depth perception

1. はじめに

内視鏡手術は、傷も小さく患者の負担が少ない低侵襲手術であるが、内視鏡で見ている患部の位置・方向が分からなくなったり、内視鏡画像内に見えている対象物の距離感がつかめないなどの問題が指摘されており、これが医療事故につながるケースも少なくない。そこで、内視鏡の位置を把握するための手術ナビゲーションシステム[1]が、また内視鏡画像内の距離感覚を把握させるための技術として、内視鏡の画像に両眼視差を与えて立体表示する立体内視鏡（三次元内視鏡）が開発されつつある。

両眼の像のずれにより生じる両眼視差は、約10m程度までの比較的近い距離での立体視に極めて重要であり、奥行き差の弁別精度も高い[2]。最初に開発された立体内視鏡は、視差を付けた2つのカメラ系で生体内画像を撮影し、それを液晶シャッターにより左右視差を提示できる立体ディスプレイを用いて医師に提示するもので、「2眼2カメラ」と呼ばれる方式である（図1.1）。しかし、実際にこれを利用した医師らは、疲労が大きく30分以上の連続使用は不可能であった。手術そのものは1時間以上をわたるため、これは致命的な欠点である。立体内視鏡による疲労の原因としては

- ・立体像の焦点位置が固定であるため、医師の見ている場所に焦点が合っているとは限らない。
- ・実際に見ている画面の位置と、立体像の位置のずれ。

などが考えられるが、いずれも解決が困難である。

そこで考案されたのが、「リアルビジョン」方式（新興光器（株））である。これは、視差の無い1つのカメラ系で撮影された通常の単眼視のビデオ画像に、実際の物体の奥行きとは無関係に左右均一の視差を付けるもので、「1眼1カメラ方式」と呼ばれる（図1.2）。つまり、原理的には同じ画像を左右にずらして左右の目に見せるので、厳密には立体視ではない。にもかかわらず、実際に脳外科手術などを行う医師に使用してもらった結果、2眼2カメラの立体内視鏡と比べて疲労が格段に少なく、左右視差の無い普通の内視鏡方式（以下、テレビジョン方式と呼ぶ）に比べても奥行き感や広がり感があり、縫合などの手術操作が楽になった気がするというコメントが多く、総じて良い評価であるという[3]。

我々は、この「リアルビジョン方式」と従来の「テレビジョン方式」とを比較し、リアルビジョン方式がどのような優位性を持っているのかを定量的に評価することを目的として、心理物理実験と官能検査を行ったので、その結果を報告する。

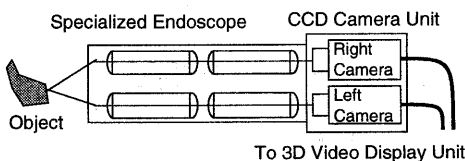


図1.1 2眼2カメラ方式による立体視

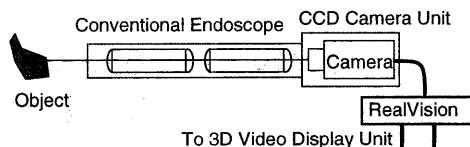


図1.2 1眼1カメラ方式（リアルビジョン）

2. 実験

立体内視鏡では、映像内の物体の相対的な前後関係が正確に把握できること、そして縫合操作などを円滑に行えるように映像内の物体との距離感覚が把握できることの2つが重要である。また、立体視が与える奥行き感や広がり感が、医師の器具（内視鏡・鉗子等）の操作に心理的な安心感を与えることも重要な効果の1つである。そこで、（1）映像内の物体の相対的な奥行き知覚特性、（2）映像内の物体を操作するときの操作感覚特性、（3）立体映像に関する心理特性の3つの要素について、リアルビジョン方式とテレビジョン方式とで比較実験を行った。なお、本実験で用いた内視鏡は、鼻腔用硬性内視鏡（鏡筒の長さ約20 cm、太さ4 mm）である。

2.1. 奥行き知覚に関する実験

実験装置を図2.1に示す。内視鏡の光軸に直交するように2枚の亚克力製白色矩型板を置き、内視鏡のカメラで撮影された矩型板の映像をビデオディスプレイで被験者に提示した。2つの矩型板は、図2.2のように内視鏡の先端から3 cm程度の位置に配置した。これは鼻腔用硬性内視鏡の実際の使用条件に近い設定である。実験では、この2つの矩型板に光軸方向のずれを与え、その相対的な位置関係（前後関係）を被験者に回答させた。視差情報のみを手がかりとした奥行き知覚を得るため、照明・画像内での物体の見え方（方向や大きさ、表面のテクスチャ等）には十分な注意を払った。

ビデオディスプレイ装置には、新興光器社性のリアルビジョン内視鏡装置を用いた。この装置は、被

験者に液晶シャッタ付眼鏡を装着させ、医療用内視鏡装置で撮影した映像に均一の左右視差を与えてディスプレイに表示するもので、ディスプレイに120Hzで左右画像を交互に映しだし、画面表示周波数と同期して左右の液晶シャッタを交互に開くことにより、左右に60Hzで異なる映像を提示することができる。なお、テレビジョン方式でも両眼視差以外の条件をリアルビジョン方式の提示条件と揃えるために、リアルビジョン方式と同じ撮像装置、表示装置を用いた。具体的には、被験者には液晶シャッタ付眼鏡を装着させ、リアルビジョン装置の左右視差をゼロに設定して映像を提示した。2枚の矩形板の間の距離を0.5~2.0cmの間で0.5cm刻みで変化させて各被験者にランダムに提示し、被験者に『内視鏡画面を見ながら、左右の矩形板のどちらが手前に見えるかを「右」か「左」でデータシート1に記入してください。』と指示して、回答をデータシートに記入させた。5種類の前後関係の組み合わせの提示を1セットとし、各被験者につきテレビジョン方式2セット、リアルビジョン方式2セットの実験を行った。偶数番号の被験者では1・3セット目がテレビジョン方式、2・4セット目がリアルビジョン方式とした。奇数番号の被験者では、1・3セット目がリアルビジョン方式、2・4セット目がテレビジョン方式とした。

2.2. 操作感覚に関する実験

前方と上方が開いた黒い箱の中に、直径1mmの白色被覆ワイヤーで作った直径3mmの輪を置き、その前方2cm程度の位置に内視鏡を固定した。被験者は、黒い箱の側方にある細長い穴（ガイド）から先端に針の付いた棒を挿入し、図2.3のような内視鏡の画面のみを見ながら、ワイヤーで作った穴に針の先端を通すタスクを行う。ワイヤーで作った輪は、光軸に対して約45度の角度を持つように配置した。輪の平面が光軸と一致すると輪を内視鏡で見ることができなくなり、また、輪の平面が光軸に完全に直行してしまうと、側方から挿入した針で輪を通すことはできなくなるためである。

被験者が針を挿入した後、輪の付近で前後に動かすと、輪の奥行きを把握できなくても容易に針を輪に通すことができる。そこで本実験では、装置の後ろの壁面に十字線をいれ、被験者には、『まず、側方のガイドから針を挿入して、赤い線の交わっている位置に針の先を合わせてください。』と指示した。十字線の高さは、内視鏡の光軸の高さと一致しており、十字線の付近で針を前後に動かしても、針の先端位置が相対的に視野内で上下することはない。この状態で、被験者に側方の細長い穴（ガイド）に沿って針の前後位置を合わせるように『前後の水平移動により位置を決めたら、そこから一気に差し通して下さい。』と指示した。被験者は、針の先端が十字線からはずれないように針の前後位置を調整し、そこから、輪に目がけて針を一気に進める。これを1試行とし、リアルビジョンとテレビジョン方式で、それぞれ10試行ずつ行った。1試行ごとに針の付いた棒を黒い箱から抜き出させ、また、針が輪を通ったり触れたりした場合には、被験者のひじの位置も換えさせた。これは、被験者が針の動きを単純な手首運動として学習してしまうことを避けるためである。なお、被験者番号1~5、11~15はテレビジョン方式、16~20はリアルビジョン方式を先に行った。

2.3. ビデオ映像提示による官能検査

リアルビジョンとテレビジョンに関する心理的特性を調べるために、約1分間の同一内容のビデオ映像を、リアルビジョンとテレビジョンの2つの方式で提示し、その後、以下の8項目について4段階（非常に強く感じられる、強く感じられる、やや感じられる、感じられない）で評価させた。被験者には、ビデオ映像を提示する前に、8つの官能検査項目とその内容を読み上げて、これらの点に留意しながらビデオを見るように指示した。

- ・立体感 : 画像中の対象が立体的な厚みを持ったものとして感じられるか
- ・奥行き感 : 画像に奥行きが付いて感じられること
- ・実在感 : 画像中の対象が実際に存在しているように感じられること
- ・圧力感 : 画像中の対象が迫ってくるように感じられること
- ・一体感 : 画像と自分が空間的につながったように感じられること
- ・自然らしさ : 画像の対象が自然に見えるように感じられること
- ・好ましさ : この提示方法が好ましく感じるか（主観的な好み）
- ・酔うかどうか : 乗り物酔いに似たような感じがあるか

なお、ビデオ映像としては、市販の野草や自然の風景を遠景、近景で撮影したものを利用した。これらは画面内部でオブジェクトが高速で動き回るような映像ではない。実際の内視鏡手術の場面では、内視鏡画面内でオブジェクトが動き回することは少ないことから、このような映像サンプルを選定した。リアルビジョンから先に見せるか、テレビジョンから先に見せるかは、被験者ごとにランダムに設定した。

2.4. 被験者

視覚に病的障害のない健常成人20名について実験を行った。

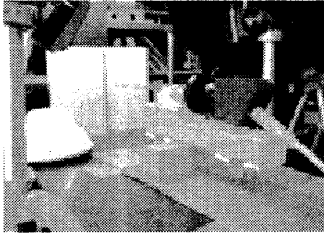


図2.1 奥行き知覚実験装置

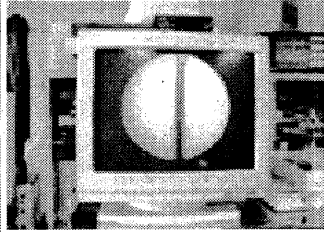


図2.2 奥行き知覚に関する
実験画面提示例

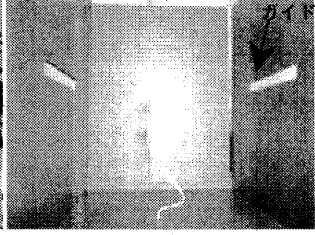


図2.3 操作性実験の画面提示例

3. 結果

実験1については正答率、実験2については成功率と操作時間を計算した。実験3については、各項目の評価結果を、非常に強く感じる=3、強く感じる=2、やや感じる=1、感じない=0として得点化したときの平均得点を計算した。結果の基本統計量を表3.1に示す。表中の「実験2-成功率1」は、実験2の成功率のうち、完全に針が輪を通過した成功率を、「成功率2」は針が輪に触れた試行も成功に含めた場合の成功率である。また、「時間1」は完全に針が輪を通過した試行のみの平均操作時間（単位：秒）、「時間2」は針が輪に触れた試行も含めた平均操作時間である。

表3.1 基本統計量

	テレビジョン方式			リアルビジョン方式		
	平均	標準偏差	例数	平均	標準偏差	例数
実験1-正答率	.540	.167	20	.560	.419	20
実験2-成功率1	.521	1.638	20	.180	.297	20
実験2-成功率2	.788	1.684	20	.415	.317	20
実験2-時間1	4.162	4.536	11	3.906	4.594	11
実験2-時間2	3.857	3.599	18	3.032	3.185	19
実験3-立体感	1.250	.786	20	1.400	1.188	20
実験3-奥行き感	1.400	.883	20	1.750	1.070	20
実験3-実在感	1.200	.696	20	1.400	1.095	20
実験3-圧力感	.350	.587	20	.700	1.031	20
実験3-一体感	.600	.681	20	.800	.894	20
実験3-自然らしさ	1.350	.933	20	.950	.945	20
実験3-好ましさ	1.300	.657	20	.950	.945	20
実験3-酔うかどうか	.100	.308	20	.700	.923	20

4. 考察

実験1および実験2に関して、結果の平均値についてテレビジョン方式とリアルビジョン方式とで差があるかどうかを見るため、対応ありのt検定を行ったところ、10%水準で有意差は認められなかった ($p>0.2$)。従って、リアルビジョンによる左右均一視差は、物体の奥行き知覚や操作性にほとんど影響を与えないと言える。リアルビジョン方式では、対象物の奥行きに関係無く均一な左右視差を与えるため、正しい両眼視差情報に基づく奥行き知覚がなされるわけでないため、この結果は理論的に当然である。

実験3の結果を得点化したものの平均値が方式により差があるかどうか、各質問項目ごとに対応ありのt検定を行った。立体感、実在感、一体感の3つの因子については、リアルビジョンとテレビジョン方式とで10%水準で有意差が認められなかった ($p>0.2$)。しかし、奥行き感、圧力感、自然らしさ、好ましさの項目については10%水準で有意差が認められ（それぞれ $p=0.069$, $p=0.069$, $p=0.088$, $p=0.069$ ）、酔うかどうかについては5%水準で有意差が認められた ($p=0.01$)。奥行き感、圧力感についてはリアルビジョン方式のほうが強く感じ、自然らしさ、好ましさなどの項目ではいずれも従来のテレビジョン方式のほうがより自然で好ましいと感じていることが確かめられた。また、酔うかどうかについては、リアルビジョンのほうが酔う感じがするという結果であった。しかし、総じて、各

項目の得点は絶対的に低いもので、平均得点で2点（強く感じる）に達したものは一つもなかった。特に、圧力感や酔うかどうかについては、両方式間で有意な差が認められたものの、得点はいずれも1点（やや感じる）以下であり、絶対的にはほとんど感じられていないと言える。

ではリアルビジョン方式はなぜ「奥行き感」があると感じられたのだろうか？一定の視差の効果で、リアルビジョン方式の画面では、内視鏡画面の円くて黒い外枠に対して映像がその奥（向こう側）にあるように見えるのは事実である。このことが、映像の中に映っているものに対しても奥行き知覚を強めたように感じられ、さらに「圧力感」をも生じたのではないだろうか。また同時に、このことが「酔う」ような感じを与え、それに関連して「好ましさ」という項目に対してもネガティブな有意差が見られたと考えられる。

これらの結果から、リアルビジョン方式では正しい両眼視差情報が得られなくとも「何らかの両眼視差が奥行き感覚を強める」という特質を持っていると言える。また、想定した物理的視覚特性に客観的効能は認められないが、疑似的であるにせよ、立体視があるという心理的な効果の存在は否定できないことがわかった。今後、2眼2カメラ方式の立体視との比較を行い、人間の奥行き知覚のメカニズムに対する視差の影響を解明していく考えである。

謝辞

実験にご協力いただいた松岡美和氏（日本大学生産工学部管理工学科）に、この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 山下樹里 他：実時間透視図表示による内視鏡手術ナビゲーションシステムの評価、情報処理学会HI研究会資料97-HI-74, 1997, pp.25-30.
- [2] 泉武博：3次元映像の基礎、NHK放送技術研究所編集、オーム社、1995.
- [3] 篠原一彦 他：一眼一カメラ方式三次元内視鏡システムによる大腸内視鏡の開発と次世代内視鏡への提言、日本コンピュータ外科学会大会予稿集、1997, pp. 27-28.