

# AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

眼科手術 (2002.10) 15巻4号:493～497.

バーチャルリアリティ技術を用いた硝子体手術シミュレータ

吉田晃敏, 引地泰一, 五十嵐羊羽, 高橋修一, 寺田尚史

# バーチャルリアリティ技術を用いた硝子体手術シミュレータ

吉田晃敏\*<sup>1</sup> 引地泰一\*<sup>1</sup> 五十嵐羊羽\*<sup>1</sup> 高橋修一\*<sup>2</sup> 寺田尚史\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> 旭川医科大学眼科学講座 \*<sup>2</sup> 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 \*<sup>3</sup> 三菱プレシジョン株式会社 開発統括部

バーチャルリアリティ (VR) 技術を用いて硝子体手術を擬似体験し実習トレーニングを行う硝子体手術シミュレータを開発した。病変をコンピュータ上で模倣的にモデル化しコンピュータグラフィックス (CG) を用いて模倣術野の立体映像を作成することにより、硝子体手術環境をコンピュータ上で再現し、模倣手術を行った。本シミュレータを用いることにより、手術手技の習得のため術具の操作や手術手順などを繰り返し学習することができる。

## A Surgical Simulator for Vitrectomy Employing Virtual Reality Techniques

Akitoshi Yoshida<sup>1)</sup>, Taiichi Hikichi<sup>1)</sup>, Shou Igarashi<sup>1)</sup>, Shuichi Takahashi<sup>2)</sup>, Takafumi Terada<sup>3)</sup>

Department of Ophthalmology, Asahikawa Medical College<sup>1)</sup>, Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R & D Center<sup>2)</sup>, Mitsubishi Precision Co., Ltd.<sup>3)</sup>

A surgical simulator for vitrectomy employing virtual reality has been developed, allowing for the practical training of vitrectomy in a simulated environment. Simulations are performed by constructing disease models and generating stereoscopic images of surgical fields on the computer. The simulator enables us to study how to operate using various surgical tools, and allows us to perform each step of a procedure repeatedly in order to properly develop our skills.

[Japanese Journal of Ophthalmic Surgery 15(4) : 493-497, 2002]

### はじめに

硝子体手術は増殖糖尿病網膜症や増殖硝子体網膜症、そして黄斑疾患にもその適応範囲が広がってきている。硝子体手術の合併症は視機能に重大な影響を及ぼすが、術中の不用意な操作に起因するものもあり、特に術者が初心者の場合に起こることがある。

硝子体手術教育において動物眼を用いることにより硝子体ゲル切除を模倣することは可能である。しかし硝子体手術において最も重要でかつ合併症が発生しやすい手術手技である網膜上や網膜下の増殖組織の切除除去の練習が行える適切な代替手段は今日までなく、初心者がこれらの手技を習得するためには術中に指導医から教わるのが現状である。

医学以外の分野に目を向けると、自動車の運転免許証

取得にはコンピュータグラフィックス (CG) を応用したドライブシミュレータ、運転練習機がすでに実用化されている。また航空機事故は多くの人命を危険にさらすため、パイロットは操縦技能の向上を目的に、航空機の操縦を模倣したプライトシミュレータを用いて、操縦訓練や安全な操行手順の習得を行うよう義務づけられている。

そこで筆者らは硝子体手術においても同様に擬似体験ができ、手術の手技や手順の習得を可能とするために、バーチャルリアリティ (VR) 技術を用いた硝子体手術シミュレータの開発を行っている<sup>1)</sup>。本手術シミュレータは、硝子体手術の代表的な対象症例である網膜前膜、加齢黄斑変性症、糖尿病網膜症の3症例に対応しており、これらの症例での模倣手術の一例を報告する。

〔別刷請求先〕 吉田晃敏：〒078-8510 旭川市緑が丘東2条1-1-1 旭川医科大学眼科学講座 e-mail : pyoshida@asahikawa-med.ac.jp  
Reprint requests : Akitoshi Yoshida, M.D., Department of Ophthalmology, Asahikawa Medical College, 2-1-1 Midorigaoka-Higashi, Asahikawa 078-8510, JAPAN e-mail : pyoshida@asahikawa-med.ac.jp

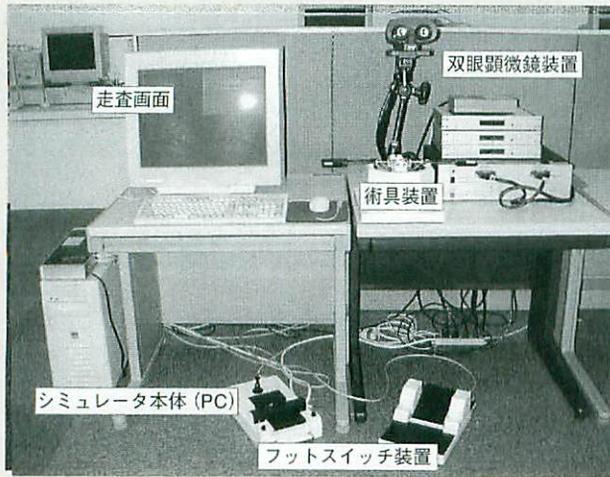


図1 硝子体手術シミュレータのシステム構成

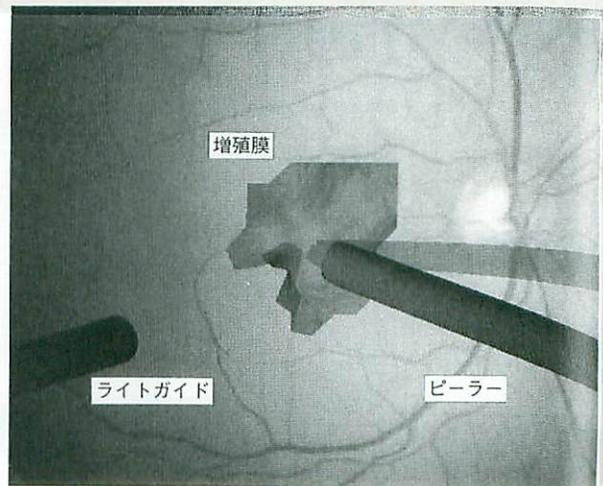


図2 ピーラーによる増殖膜剝離の一例

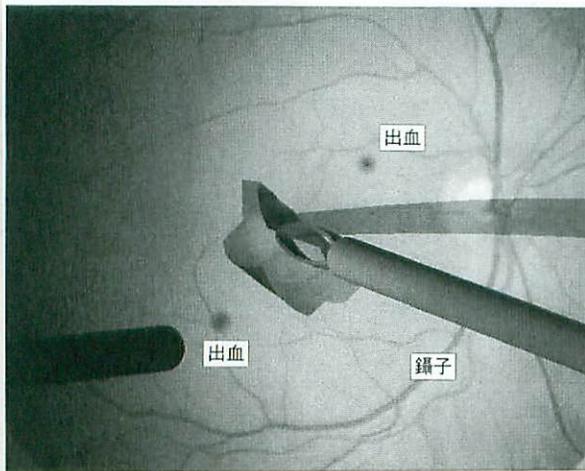


図3 鉗子による増殖膜剝離の一例

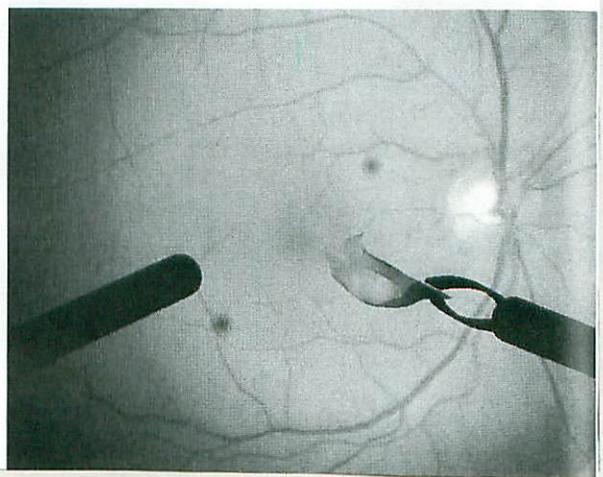


図4 鉗子による増殖膜除去の一例

### I 硝子体手術シミュレータのシステム構成

本硝子体手術シミュレータは図1に示すように、1) 立体像表示可能な双眼顕微鏡装置、2) コンピュータ上の仮想術具ツール操作に連動した術具装置、3) フットスイッチ装置、4) 硝子体手術シミュレータ本体であるコンピュータ(PC)の4つから構成され、実際の硝子体手術現場に近い操作環境を再現している。

訓練者である初心者が双眼顕微鏡装置を覗くと、その訓練者に合った視差を持った術野映像が左右眼にそれぞれ表示され、術野領域が訓練者には立体的に認識される。術具装置の左右2本の模擬術具は硝子体手術での硝子体カッターや硝子体剪刀、ピーラー、鉗子、ライトガイドなどを模擬している。この模擬術具を左右の手で持

ち操作すると、その操作にインタラクティブに連動して顕微鏡装置内の術野映像上にも仮想術具ツールが表示される。図中の左側のフットスイッチを用いて、術野映像の拡大縮小や上下左右方向への移動、ピントの調整などが行える。図中の右側のフットスイッチを用いて、硝子体カッターや硝子体剪刀の作動のオンオフが行える。訓練者が術具装置やフットスイッチ装置を操作した情報が手術シミュレータ本体へ送られ、模擬病変モデルに反映されデータ処理された結果に基づいて、硝子体手術の術野領域の擬似映像がリアルタイムに生成され顕微鏡装置内に表示される。そしてこの術野疑似映像は操作画面にも同時に表示され、この映像を見て指導医は訓練医に適切なアドバイスを与えることができる。また、この操作画面上にはメニューウィンドウも表示され、左右の仮想

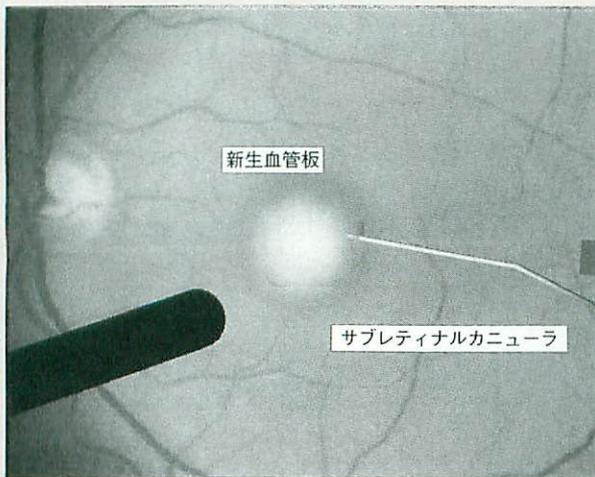


図5 新生血管板剝離の一例

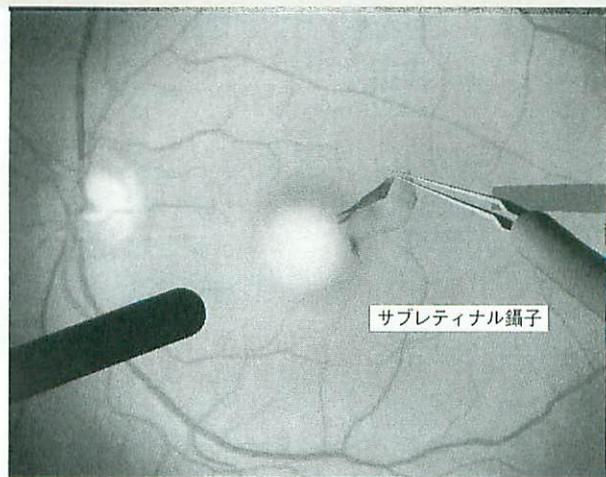


図6 新生血管板除去の一例

術具ツールの交換，立体視用パラメータ調整などが行われる。

## II 模擬手術結果

網膜前膜，加齢黄斑変性症，糖尿病網膜症の3症例において，模擬病変モデルを作成し，硝子体手術を模擬した結果を示す。

### 1. 網膜前膜手術

仮想術具ツールであるピーラーと鉗子，硝子体カッター，ライトガイドを用いて，網膜上に発生した増殖膜を剝離，除去する作業を模擬する。

術野映像上において，作業領域を左手のライトガイドにより照明しながら，右手の硝子体カッターを用いて硝子体ゲルを切除・吸引・除去する。右足のフットスイッチにより吸引のオンオフが行われる。

次に右手術具ツールとしてピーラーを選択し，眼底網膜中央部に生じた増殖膜をピーラーを用いて慎重に網膜から剝離する。誤ってピーラーが眼底網膜に強く接触すると出血が生じるようにプログラミングされている。

さらに鉗子を選択し，まくれ上がった増殖膜の端を鉗子を用いてつかみ，残りの癒着している増殖膜全体をゆっくりと剝がした後に，増殖膜を眼球外へ除去する。

図2～4は，この剝離除去の際の術野映像の一部である。術野映像は双眼顕微鏡装置内を覗く訓練者には立体映像として認識される。左足のフットスイッチを操作することにより，術野映像を自由に拡大縮小，上下左右方向に移動することができる。術具装置の左右の模擬術具

を操作すると術野模擬映像上の左右の術具ツールもそれぞれ連動して動き，リアルタイムでかつインタラクティブに増殖膜の剝離除去が模擬されるようプログラミングされている。またライトガイドを動かすと図中右側にある術具の影もそれに伴い一緒に動くようプログラミングされている。

### 2. 加齢黄斑変性症手術

仮想術具ツールであるサブレティナルカニューラとサブレティナル鉗子，硝子体カッター，ライトガイドを用いて，黄斑部網膜下に発生した新生血管板を除去する作業を模擬する。

硝子体ゲルを除去した後に，サブレティナルカニューラを選択し，術野映像上において，サブレティナルカニューラを用いて網膜下に灌流液を注入し新生血管板を周囲組織から剝離する（図5）。次にサブレティナル鉗子を選択し，これを用いて網膜下の新生血管板をつかみ除去する（図6）。

### 3. 糖尿病網膜症手術

仮想術具ツールである硝子体剪刀，硝子体カッター，ライトガイドを用いて，眼底網膜上に広く存在する半透明で厚みを持った増殖膜を切断小切片化，吸引除去する作業を模擬する。

まず硝子体カッターを用いて硝子体混濁を切除・吸引・除去する。はじめは白濁によりほとんど見えていなかった眼底部が吸引を行うにつれて徐々にコントラストをもった映像として見えてくる。

網膜に癒着していない硝子体膜は，硝子体カッターの

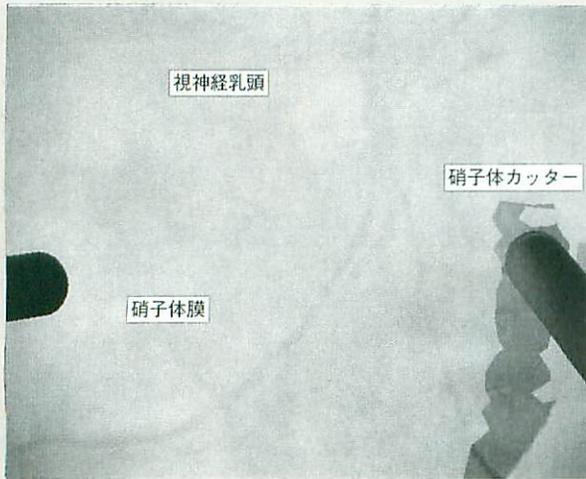


図7 硝子体膜の吸引除去の一例

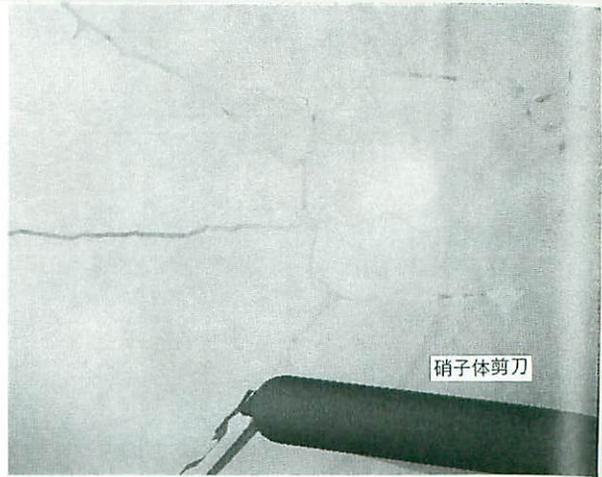


図8 増殖膜切断の一例

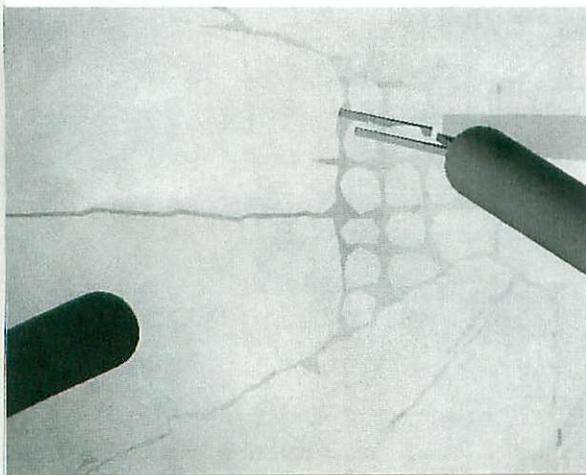


図9 増殖膜小切片化の一例

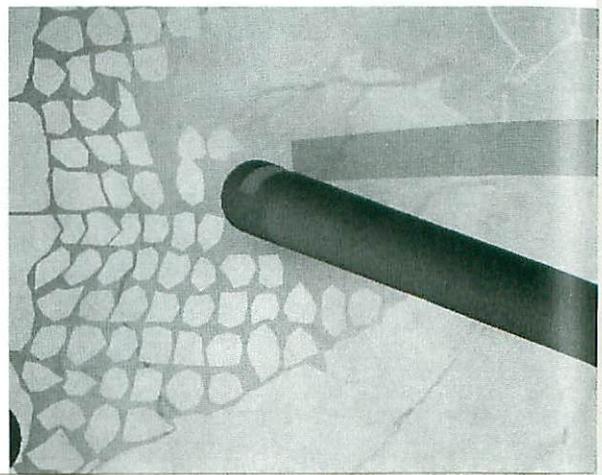


図10 増殖膜の小切片を吸引除去している一例

吸引口を近づけると小切片化され、吸引除去が可能である(図7)。

網膜上に癒着している増殖膜を、硝子体剪刀を用いて切断し小切片に切り分けた後に、硝子体カッターにより吸引除去する。

硝子体剪刀を選択し、これを用いて増殖膜を切断し小切片へと切り分ける。図8, 9では、視神経乳頭周辺から放射状に増殖膜を切断した後に、小切片へと切り分けている。

切断は増殖膜上の任意の位置と方向とで行える。そして直径が0.5 mm程度の小切片にまで硝子体膜を切り分けることが可能である。また、切断により硝子体小切片の数が増大したとしても、シミュレータの反応速度が遅くなることはない。もちろん、実際の硝子体手術では、

ここまでの増殖膜の細切断化は必要ないが、これはあくまでも手術手技を習得させる一つの訓練プログラムである。

硝子体カッターを再度選択し、切り分けられた増殖膜の小切片を吸引除去する(図10)。

硝子体カッターを小切片に近づけ吸引をオンにすると、吸引により眼底との癒着が弱くなった後に、眼底から小切片が離れゆっくりと吸引されていく。

予定した範囲の増殖膜の除去が完了するまで、これらの増殖膜の切断と小切片化、吸引除去を繰り返す。硝子体膜除去完了後は、眼球内の水を空気で置換して、コンタクトレンズを交換して眼底をチェックする操作を行い、模擬手術を終了する。

## おわりに

筆者らが開発した硝子体手術シミュレータは、バーチャルリアリティ技術をもとに硝子体手術を繰り返し擬似体験し実習することを可能にした。本報告では3症例に対する模擬手術を提示したが、さらに模擬病変モデルを作成することにより多くの疾患や稀な疾患への対応も可能である。

本シミュレータを用いることにより、初心者にとっては、手術手技の習得のため術具の操作や手術手順などを繰り返し学習することができる。また、本シミュレータは初心者のためだけにとどまらず、熟練した術者にとっ

ては、難治性疾患や稀な疾患を模擬することにより、手技の向上や新しい手技の考案、習得などを行える利点がある。

また、将来的には複数のシミュレータをネットワーク上で統合した遠隔手術教育システムへの応用も考えられる。

## 【文献】

- 1) Hikichi T, Yoshida A, Igarashi S, et al : Vitreous surgery simulator. *Arch Ophthalmol*, 118 : 1679-1682, 2000