

肝切除手術における 3D 肝臓モデルの利用に関する検討

Investigation of using 3D printed liver during liver resection surgery

前東晃礼¹ 三輪和久² 寺井仁³ 伊神剛⁴ 中村嘉彦⁵ 森健策⁶
 Akihiro Maehigashi, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai,
 Tsuyoshi Igami, Yoshihiko Nakamura, Kensaku Mori

¹ 名古屋大学未来社会創造機構, ² 名古屋大学情報科学研究科, ³ 近畿大学産業理工学部,
⁴ 名古屋大学医学部, ⁵ 国立苫小牧工業高等専門学校情報工学科, ⁶ 名古屋大学情報連携統括本部
 Nagoya University, Institute of Innovation for Future Society,
 Nagoya University, Graduate School of Information Science,
 Kinki University, Faculty of Humanity-Oriented Science and Engineering,
 Nagoya University, Graduate School of Medicine,
 Tomakomai National College of Technology, Department of Computer Science and Engineering,
 Nagoya University, Information and Communications
 mhigashi@cog.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract

In this study based on ethnographic methods, we investigated how a three-dimensional (3D) printed liver is used by doctors during liver resection surgery. Results of the analyses implied that using the 3D printed liver enhanced the construction of elaborate mental models of patients' livers, the accurate mental simulation of liver resections, and the construction of shared mental models among doctors.

Keywords — External resources, Mental models, 3D print, Ethnography

1. はじめに

これまでの認知科学における研究では、外的資源として与えられる情報の提示方法が、人間の認知活動に影響することが示されてきた。外的資源としての2次元(以下、2D)イメージの利用については、情報が等価であっても、文章で示された情報を図で示す[1]、または数値データをグラフで示す[2]ことによって、空間的位置を利用して情報を取得することが可能となり、情報の探索や認識が容易になることが示されている。近年は、ヴァーチャルリアリティなどの3次元(以下、3D)イメージの利用により、奥行情報の提示が可能である。いくつかの研究は、2Dよりも3Dイメージを利用した方が、物理的構造の理解を促進することを実験的に示している[3][4]。さらに近年、3Dプリンタが普及し、グラフィックイメージの複製をオブジェクトとし

て制作することが可能となった。このような3D印刷されたオブジェクトが人間の認知活動に与える影響については、これまでにあまり検討されていない。本研究では、エスノグラフィーの手法を用いて、肝臓の腫瘍切除手術の現場で、どのように3Dプリントされた肝臓(以下、3D肝臓モデル)が利用されるか検討を行った。肝切除手術の現場は、切除の正確さが患者の生死に関わる極めて緊迫した状況である。そのような現場における3D肝臓モデルの利用について検討を行った。

手術現場における3D肝臓モデルの利用は、医師が持つ患者の肝臓のメンタルモデルに、少なくとも3つの影響を与えることが予測される。メンタルモデルは、ある領域や状況に関する内的表象である[5]。1つ目は、メンタルモデルの精緻化である。メンタルモデルは、新しい情報が得られるたびに更新され、正確な情報が得られることにより精緻化される[6]。3D肝臓モデルの利用により、医師らは、患者の肝臓の内部構造を正確に理解し、肝臓のメンタルモデルを精緻化させることができると考えられる。2つ目は、正確な切除シミュレーションの促進である。メンタルシミュレーションを行う際には、メンタルモデルを使って行動がシミュレートされ、行動の結果が予測される[7]。3D肝臓モデルの利用により、医師らは、正

確な切除シミュレーションを行うことができると考えられる。3つ目は、メンタルモデルの共有の促進である。協同作業において、複数の人が類似したメンタルモデル(shared mental model や team mental mode)を持つことがある[8]。3D 肝臓モデルの利用により、医師間で、肝臓に関する情報共有が容易になり、類似した肝臓のメンタルモデルの生成が促進されると考えられる。

2. 方法

本研究は、倫理審査に関わる名古屋大学病院と各患者の承認を得て行われた。本研究では、名古屋大学病院で行われた5つの肝切除手術を、観察、記録した。手術の内容は、肝臓の腫瘍除去であった。各手術では、医師(執刀医、第一助手、第二助手)、看護師2~3名、そして麻酔医2名がスタッフとして手術に参加した。

手術の記録には、3台のカメラと2本のマイクを使用した。図1は、手術現場における記録機材のセッティングを示す。1台のカメラは、手術室に備え付けられたカメラであり、医師らの頭上に設置された。もう1台のカメラは、助手らの背後に設置され、さらにもう1台のカメラは、記録者が手に持ち、手術室を移動して撮影が行われた。また、2本のマイクは、医師らの頭上に設置された。患者は、執刀医と助手の間で、仰向けの姿勢で横たわっていた。

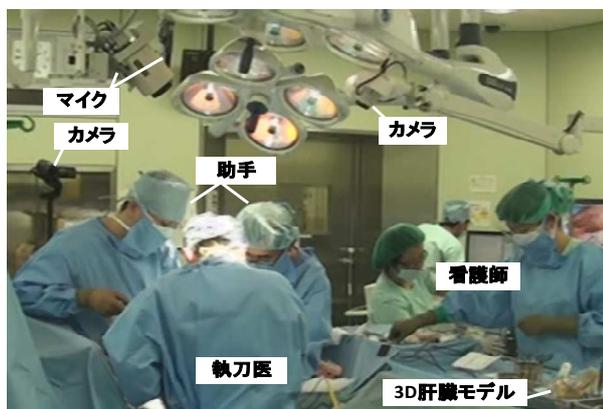


図1 手術現場における記録機材のセッティング

3D 肝臓モデルに関しては、手術ごとに各患者の肝臓データに基づいて、個別の3D 肝臓モデル

が作成された。3D 肝臓モデルは、CT(Computed Tomography)による患者の臓器計測によって獲得された臓器データに基づき、3D プリンタを使ってアクリル樹脂を塗り重ねて作成された。具体的には、厚さ 0.02mm のユニットを、約 4000 層重ねて作成された。その後、余分な樹脂を溶かし、表面を磨いて完成された。3D 肝臓モデルでは、血管や腫瘍が可視化され、肝臓内部の構造を視覚的に観察することが可能であった。図2は3D 肝臓モデルを示す。図2の白味がかかった薄黄色の血管は門脈を示し、青色の血管は肝静脈を示す。腫瘍は白色で表現された。



図2 3D 肝臓モデル

3. 結果

3.1 コード化

記録された映像と音声に基づいて分析を行った。まず、3D 肝臓モデルが使用されている最中とその前後の一連の言語行為を1会話と定義した。さらに、各会話で、一息で発せられた発話、または発話のない1つの身体動作を1セグメントと定義した。そして、各セグメントについて、発話者、発話対象、発話内容のカテゴリーを設けて、各カテゴリーについてコード化を行った。発話者に関しては、誰が発話をしたかをコード化した。多くのセグメントに、執刀医または第一助手が割り当てられたが、その他に、第二助手、看護師、麻酔医が割り当てられた。発話対象に関しては、実際の肝臓と3D 肝臓モデルのどちらを対象にした発話かをコード化した。いくつかのセグメントでは、実際の肝臓と3D 肝臓モデルのいずれも対象になっていない発話もみられた。最後に、発話内容に

関しては、発話の内容をコード化した。多くは、事実確認、プラン確認、そして予測・推測に割り当てられた。事実確認は、肝臓部位の位置、大きさ、長さの確認に関する発話と定義した。プラン確認は、切除対象と切除ラインの確認に関する発話と定義した。そして、予測・推測は、行動の結果生じることへの予測、または確認できない事実の推測に関する発話と定義した。その他に、作業の委託、作業の行いやすさ、作業手続き、発話の聞き直し、言い切りのない発話、発話のない身体動作に割り当てられた。

3.2 分析

3.2.1 基本データ

5つの手術で取り出された会話の総数は67会話であった。67会話の総セグメント数は1,384セグメントであり、1会話の平均会話時間は、1分8秒であった。

以下では、発話者に関して執刀医または第一助手が割り当てられ、発話対象に関して実際の肝臓または3D肝臓モデルが割り当てられ、そして、発話内容に関して事実確認、プラン確認、または予測・推測が割り当てられたセグメントを分析対象とした。その結果、863セグメントが分析対象となった。

まず、その863セグメント中の発話者のセグメント数をカウントした結果、執刀医の発話数が573セグメントであり、第一助手の発話数が290セグメントであった。二項検定の結果、執刀医の発話が有意に多いことが示された($p<.01$)。次に、発話対象についてセグメント数をカウントした結果、実際の肝臓を対象とした発話数が396セグメントであり、3D肝臓モデルを対象とした発話は467セグメントであった。二項検定の結果、3D肝臓モデルを対象とした発話が発話者により多いことが示された($p<.05$)。そして、発話内容についてセグメント数をカウントした結果、事実確認についての発話数が418セグメント、プラン確認については367セグメント、予測・推測については78セグメントであった。カイ二乗検定の結果、3者間の偏りが有

意であった($\chi^2(2)=233.77, p<.01$)。多重比較の結果、事実確認とプラン確認の間に有意な差はなく、予測・推測よりも事実確認についての発話が発話者により多く($p<.001$)、また、予測・推測よりもプラン確認についての発話が発話者により多いことが示された($p<.001$)。以下では、発話内容に関して、特に手術中の発話が顕著であった事実確認とプラン確認について分析を行った。

3.2.2 事実確認

手術の記録から、事実確認に関しては、実際の肝臓上で触覚による確認とともに生じた発話、また3D肝臓モデル上で視覚による確認とともに生じた発話がいづつか観察された。そのため、事実確認に関しては、触覚と視覚による確認に焦点を当てた分析を行った。実際には、触覚による確認に関する発話として、感触に関する発話(「堅い」、「かちかち」など)、または実際の肝臓に圧力をかけて握る動作とともに発話が行われているセグメント数をカウントした。また、視覚による確認に関する代表的な発話として、距離と位置関係に関する発話(距離については「～センチ」、「これくらい」など、位置関係については「～の奥」、「～の上」など)が生じたセグメント数をカウントした。表1は、実際の肝臓上と3D肝臓モデル上で、触覚と視覚による確認に関する発話が生じたセグメント数を示す。直接確率を行った結果、有意な偏りがみられ($p<.01$)、3D肝臓モデル上では、視覚による確認に関する発話が発話者により顕著であった。

表1 実際の肝臓上と3D肝臓モデル上で、触覚と視覚による確認に関する発話が生じたセグメント数

	触覚	視覚
実際の肝臓	29	25
3D肝臓モデル	0	48

以下に、事実確認の典型的な発話パターンが現れた会話を示す。セグメントごとに発話者と発話対象が示されている。発話者に関しては、

執刀医は S(Surgeon), 第一助手は A(Assistant) と示す. 発話対象に関しては, 実際の肝臓は R(Real liver), 3D 肝臓モデルは 3D(3D printed liver), 発話対象なしは N(None)と示す. また, 下線は身体動作を示す.

- 1 A/N : ちょっと, さっきの貸して
- 2 S/N : 3D プリンタのモデル, モデル
ちょうだい
- 3 A/R : ここに何か堅いものあるよ
実際の肝臓を軽く握る
- 4 S/R : そうですね, これですね
実際の肝臓を軽く握る
- 5 A/R : ここだね
実際の肝臓を軽く握る
- 6 A/N : 看護師から 3D 肝臓モデルを
受け取る
- 7 S/3D : ここというか, ここですね
3D 肝臓モデルを指でなぞっ
て指差し
- 8 A/R : ここだね
実際の肝臓を指差し
- 9 S/R : ええ
実際の肝臓を指差し
- 10 S/3D : 頂点が, 頂点がここですから
3D 肝臓モデルを指差し
- 11 A/3D : そうだね
- 12 A/N : 看護師に 3D 肝臓モデルを手
渡す

セグメント 1 と 2 では, 執刀医と第一助手が, 看護師に 3D 肝臓モデルを渡すように告げている. セグメント 3~5 で, 実際の肝臓上で触覚による肝臓部位の確認が行われている. セグメント 7 では, 3D 肝臓モデル上で視覚的に肝臓部位の確認が行われている. そして, セグメント 8 と 9 で, 実際の患者の肝臓上で肝臓部位の確認が行われ, セグメント 10 と 11 で, 3D 肝臓モデル上で視覚的に肝臓部位の確認が行われている. 一連の発話パターンから, 事実確認においては, まず, (1)実際の肝臓上で触覚による肝臓部位の確認が行われ(セグメント 3~5), 次

に, (2)3D 肝臓モデル上で視覚による肝臓部位の確認が行われ(セグメント 7), そして, (3)実際の肝臓上で肝臓部位の確認が行われる(セグメント 8 と 9)というプロセスが確認された.

3.2.3 プラン確認

プラン確認における発話では, 切除する部位, 切除するラインに関する発話について分析を行った. 実際には, 切除対象に関する発話(「~を切る」, 「~は残す」など)が生じたセグメント数をカウントした. また, 切除ラインに関する発話(「このラインで切る」, 「~に沿って切る」など)が生じたセグメント数をカウントした. 表 2 は, 実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で, 切除対象と切除ラインに関する発話が生じたセグメント数を示す. 直接確率を行った結果, 有意な偏りがみられ($p<.01$), 3D 肝臓モデル上では, 切除対象に関する発話が顕著であった.

表 2 実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で, 切除対象と切除ラインに関する発話が生じたセグメント数

	切除対象	切除 ライン
実際の肝臓	26	41
3D 肝臓モデル	50	27

以下に, プラン確認に関する典型的な発話パターンが現れた会話を示す.

- 1 S/R : これも残さなあかんやろ?
- 2 A/R : 裏のですか?
- 3 S/N : 3D 肝臓モデルを持ち上げる
- 4 S/3D : 裏のここか, ここだ, 裏のここだ
3D 肝臓モデルを指差し
- 5 A/3D : 残す奴ですか?
- 6 S/3D : いや, 残さなくていい, 8(肝臓部位の名称)だから
- 7 A/3D : あー
- 8 S/3D : ここだ, このツモール(腫瘍)のすぐここだ
3D 肝臓モデルを指差し

9	A/3D :	あー
10	S/3D :	この枝だ, この枝
11	A/3D :	ここがこういう風にはまっている
12	S/N :	<u>3D 肝臓モデルを手術台に置く</u>
13	S/R :	やっぱ, 8を
14	A/R :	全切除しないかんですかね
15	S/R :	うん, カーブに沿って割ってかな だめね

セグメント 1 と 2 では, 実際の肝臓上で切除対象の切除について確認が行われている。セグメント 4 で, 3D 肝臓モデル上で, 切除対象の位置が確認され, セグメント 5~7 で, 切除についての確認が行われている。さらに, セグメント 8~11 で, 3D 肝臓モデル上で, 切除対象の位置が確認されている。そして, セグメント 13 と 14 で実際の肝臓上で切除についての確認が行われた後に, セグメント 15 で, 実際の肝臓上で切除ラインの確認が行われている。一連の発話パターンから, プラン確認においては, まず, (1)実際の肝臓上で, 切除対象の切除について確認が行われ(セグメント 1 と 2), 次に, (2)3D 肝臓モデル上で, 切除対象の切除について確認が行われ(セグメント 5~7), そして, (3)実際の肝臓上で切除ラインの確認が行われる(セグメント 15)というプロセスが確認された。

3.2.4 コミュニケーション

最後に, 医師間のコミュニケーションの観点から, 3D 肝臓モデルの利用について検討を行うために, 分析の対象となった 863 の全てのセグメントで, 指示語(「これ」, 「この」など)と肝臓部位の名称(「肝静脈」, 「グリソン」など)が頻出した数をカウントした。実際には, 形態素解析ソフト MeCab [9]を使用して, 分析対象のセグメント中の発話を文節に区切り, 指示語と肝臓部位の名称が頻出した文節数をカウントした。表 3 は, 実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で, 指示語と肝臓部位の名称の発話が生じた文節数を示す。直接確率を行った結果, 有意な偏りがみられ($p<.05$), 3D 肝臓モデル上では, 指示語の頻出が顕著であった。

表 3 実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で, 指示語と肝臓部位の名称の発話が生じた文節数

	指示語	部位の名称
実際の肝臓	244	135
3D 肝臓モデル	394	158

4. 考察

4.1 メンタルモデルの精緻化

事実確認に関する発話の分析を行った結果, 3D 肝臓モデル上で視覚による確認に関する発話が顕著であった。また, 以下の発話パターンが確認された。まず, (1)実際の臓器上で触覚による肝臓部位の確認が行われ, 次に, (2)3D 肝臓モデル上で視覚による肝臓部位の確認が行われ, そして, (3)実際の臓器上で肝臓部位の確認が行われた。この発話パターンの(1)では, 医師らは, 実際の肝臓上で触覚的に肝臓部位の確認を行った。しかし, 実際の肝臓の内部を視覚的に確認することはできない。そのため, (2)で, 3D 肝臓モデルを利用して, 視覚的に内部構造を確認し, 肝臓のメンタルモデルの更新を行い, メンタルモデルを精緻化していたと考えられる。そして, (3)で, 医師らは, 更新されたメンタルモデルを実際の肝臓に対応付けていたと考えられる。そのため, 3D 肝臓モデルは, 視覚的に肝臓部位を確認することに利用され, 肝臓のメンタルモデルの精緻化を促したと考えられる。

4.2 正確な切除シミュレーションの促進

プラン確認に関する発話の分析を行った結果, 3D 肝臓モデル上で切除対象に関する発話が顕著であった。また, 以下の発話パターンが確認された。まず, (1)実際の臓器上で切除対象の切除について確認が行われ, 次に, (2)3D 肝臓モデル上で切除対象の切除について確認が行われ, そして, (3)実際の臓器上で切除ラインの確認が行われた。この発話パターンの(1)では, 医師らは, 実際の肝臓上で切除対象の切除について確認を行った。しかし, この場合も, 事実確認と同様に, 実際の肝臓の内部を視覚的に確認することはできない。そのため, (2)で, 3D 肝臓モ

デルを利用して、切除対象を視覚的に確認し、切除プランを確定したと考えられる。さらに、(3)で、切除プランを実際の肝臓に対応づけた上で、切除シミュレーションを行っていたと考えられる。これらの結果から、3D 肝臓モデルの利用により、切除対象を視覚的に確認して切除プランを確定でき、実際の肝臓上での正確な切除シミュレーションを促したと考えられる。

4.3 メンタルモデルの共有の促進

手術中の医師らの発話では、3D 肝臓モデル上で指示語の頻出が顕著であった。[10]は、ある物理的対象に向かって指示語が発せられる際、発話の聞き手は、視覚的特徴から指示対象を推測することを実験的に示している。また、指示対象に関する相互の認識が異なれば、理解の齟齬が生じると述べている。今回の手術で利用された3D 肝臓モデルは、肝臓内部の構造が可視化され、また執刀に関わる重要な部位は色付けにより強調されていた。医師たちは、形状や色の視覚的特徴を明確に認識することができたため、指示語の推測が容易であり、齟齬が生じることなく共通理解を獲得することができたと考えられる。3D 肝臓モデルを利用することによって、医師らは、詳細な情報が示されない指示語を通じて共通理解を獲得でき、肝臓のメンタルモデルの共有が促進されたと考えられる。

参考文献

- [1] Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987) "Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words", *Cognitive Science*, Vol. 11, No. 1, pp. 65-100.
- [2] Shah, P. (1997) "A model of the cognitive and perceptual processes in graphical display comprehension", In M. Anderson (Ed.), *Reasoning with diagrammatic representations*, pp. 94-101, Menlo Park, CA: AAAI Press.
- [3] Huk, T., Steinke, M., & Floto, C. (2010) "The educational value of visual cues and 3D-representational format in a computer animation under restricted and realistic conditions", *Instructional Science*, Vol. 38, No. 5, pp. 455-469.
- [4] St. John, M., Cowen, M. B., Smallman, H. S., & Oonk, H. M. (2001) "The use of 2D and 3D displays for shape-understanding versus relative-position tasks", *Human Factors*, Vol. 43, No. 1, pp. 79-98.
- [5] Gentner, D. (2002) "Mental models, psychology of", In N. J. Smelser & P. B. Bates (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*, Amsterdam: Elsevier Science.
- [6] Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994) "Mental models of the day/night cycle", *Cognitive Science*, Vol. 18, No. 1, pp. 123-183.
- [7] Trickett, S. B., & Trafton, J. G. (2007) "What if...: The use of conceptual simulations in scientific reasoning", *Cognitive Science*, Vol. 31, No. 5, pp. 843-875.
- [8] Mathieu, J. E., Heffner, T. S., Goodwin, G. F., Sala, E., & Cannon-Bowers, J. A. (2000) "The influence of shared mental models on team process and performance", *Journal of Applied Psychology*, Vol. 85, No. 2, pp. 273-283.
- [9] Kudo, T., Yamamoto, K., & Matsumoto, Y. (2004) "Applying conditional random fields to Japanese morphological analysis", In *Proceedings of the 2004 conference on empirical methods in natural language processing*, pp. 230-237, Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics.
- [10] Clark, H. H., Schreuder, R., & Buttrick, S. (1983) "Common ground and the understanding of demonstrative reference", *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 22, No. 2, pp. 245-258.