

厚生労働科学研究費補助金(難治性疾患等克服研究事業
(免疫アレルギー疾患等予防・治療研究事業 移植医療研究分野))
分担研究報告書

脳死ドナーからの多臓器同時摘出手術教育用アニメーションの作成

研究分担者 河合 隆史 早稲田大学 基幹理工学部 表現工学科・教授

盛川 浩志 青山学院大学 理工学部 情報テクノロジー学科・助教

研究要旨

多臓器摘出手術にかかる教育コンテンツとして、3次元コンピュータグラフィクス(3DCG)アニメーションが、手術手技理解のために最適な手段の一つと捉え、胸腔・腹腔の空間的な情報と同時に、医師の動作や臓器の変形といった時間的な情報の表現に取り組んだ。本年度の研究においては、制作した3DCGアニメーションを用いてeラーニングコンテンツを構築し、インターネット上での試験的な公開によるシステムの検証を行った。

A. 研究目的

脳死下における臓器提供の件数が増加傾向にあることを背景として、医師に対する臓器摘出手術手技の教育への要求が高まっている。本研究では、安全かつ的確な多臓器摘出手術の教育プログラムを確立することを目的としている。

本年度の分担研究では、昨年度に引き続き、肝臓膵臓同時摘出手術手技の3DCGアニメーション作成に取り組んだ。さらに作成した3DCGアニメーションを用いて、ネットワーク上で教育を行うためのeラーニングコンテンツの構築を行った。

3DCGアニメーションによって手術手技の教材を作成する利点として、ビデオ撮影のように実際の患者を映すことがないため倫理面で問題が少なく、また重要な手技を適切に表現することができることが挙げられる。さらに動画による表現によって、術者の実際の動作について理解が容易になることも期待できる。特に本年度対象とした肝臓膵臓同時摘出手術では、術者と助手が同時に器具を使用する場面が多く含まれることから、器具の配置や動作方向について、表現の高度化に取り組んだ。

また、制作した3DCGアニメーションを応用したeラー

ニングコンテンツを構築し、より具体的な教育プログラムの提案に取り組んだ。eラーニングによる教育機会を設けることで、多忙である医師が時間や距離の制約なく手技の知識を学ぶことが可能になり、効果的に臓器摘出の基本手技を身に付けることができると期待される。eラーニング構築に関しては、肝臓単独摘出手術を対象とし、ネットワーク上での効率的な教育を実現するため、教材としてのシナリオ構成や時間配分を考慮したコンテンツを制作し、ネットワーク上での試験的な公開によるシステムの検証を行った。

B. 研究方法

(1)3DCGアニメーション作成

3DCGアニメーションの制作方法としては、昨年度の手順を踏襲し、大動物を用いたシミュレーションを撮影した動画や医学書、医師からの情報を参考とした。術式の過程を、医師の作業を基準として「シーケンス」単位に分類し、さらに動作を基準とする「ステップ」単位に分割した。本年度は、肝臓膵臓同時摘出手術を対象として3DCGアニメーション制作を行ったが、肝臓単独摘出手術と共通するシーケンスについては、昨年度作成したも

のを採用した。シーケンスの分類を表 1 に示す。肝臓単
独摘出、肝臓脾臓同時摘出両方の術式に含まれるシー
ケンスをA、単独のみをB、同時のみをCとして番号をふ
つている。両術式において動画としての表現を省略した
ものについても、番号のみ記述している。

表 1 術式別シーケンスの分類

シーケンス 分類番号	単 独	同 時	各シーケンスの内容
A01			開腹
A02			円靱帯の確認・切離
A03			開創器の装着
A04			腹部・肝視診、腹部大動脈下 端、総腸骨動脈分岐部直上の 剥離、テーピング
A05			左三角間膜・小網切離
C01			十二指腸を授動する動作から 上腸間膜動脈の確認
C02			胃幽門周囲の剥離と空腸のテ ーピング
A06			肝門部剥離
A07			胆嚢の切開と洗浄
A08			横隔膜下大静脈剥離(クロスク ランプ用)
A09			大動脈のカニューレション
A10			下大静脈のカニューレション
A11			横隔膜下大静脈クロスクランプ・ 灌流開始
A12・A13			クラッシュアイス
B01			総胆管を膈上縁で切離
B02・B03			胃十二指腸動脈および総肝動 脈切離
B04			門脈切離
B05			下大静脈切離と授動
B06・B07			肝臓摘出
C03			胃の術野よりの除外
C04			小腸大腸の術野よりの除外
C05			脾臓脾体部の授動と脱転から 腹部大動脈まで剥離
C06			大動脈切離
C07			下大静脈切離と授動
C08			肝臓摘出
C09			腹腔動脈と脾動脈の切離 マーキング
C10			肝臓分離

さらに、前年度においては、臓器の形状や手の動作
について、研究代表者と綿密な確認作業を行い、解剖
学的な正確さと教育的なわかりやすさの両立を目指した。
それに加え本年度では、使用する器具についても、実

物を参考にして CG モデルのブラッシュアップを行うこと
で、リアリティの向上を図った。



図 1 実物(上)を参考にしてモデリングされた器具(下)

(2)e ラーニングコンテンツ構築

e ラーニングのコンテンツを構築するにあたり、アニメー
ションのシナリオをベースとして、研究代表者ら専門医が
e ラーニング向けの構成の再検討を行った。その結果、
16 パートからなるコンテンツを構築することとした。以下
に、各パートの文字情報を表示するスライドを示す。

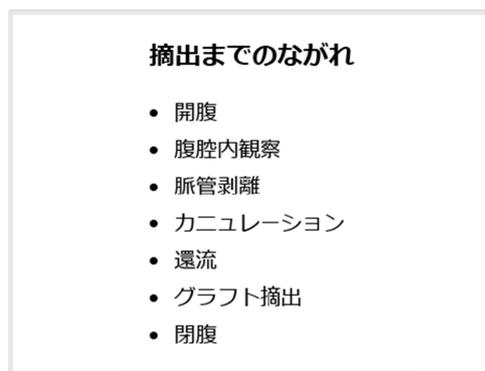


図 2 第 1 パートで表示したスライド

開腹

- ・開腹時、肝臓損傷を防ぐため、ガーゼで覆う。
- ・胸部チームとともに、胸骨上縁から恥骨上まで皮切を行う。
- ・胸部チームがいないときでも必ず胸骨切開する。

図3 第2パートで表示したスライド

右異型肝動脈確認 - 手技のポイント

- ・右異型肝動脈は、肝十二指腸間膜の右側端背面を通るので、小網を切離して、両手で肝十二指腸間膜をつかむようにして確認すると、確認しやすい。

図7 第6パートで表示したスライド

術野の展開 -腹部大動脈下端の剥離

- ・助手が横行結腸を把持して頭側に引き上げる。
- ・術者は、両手を用いて小腸全体を把持し、小腸を右側に集めるようにして腹部大動脈のやや右側まで小腸を圧排する。
- ・下腸間膜動脈が大動脈の左側に来るよう、助手は、S状結腸を左側に展開する。

図4 第3パートで表示したスライド

左三角間膜切離

- ・左三角間膜を切離するため術者は左手で、外側区域を押し下げて間膜を展開する。
- ・中央より切離を開始し、左へと進めて間膜の左端まで完全に切離する。
- ・右側に戻って、左肝静脈左縁まで剥離を進める。
- ・切離時に間膜の背面にガーゼを入れておくと安全に手技を行える。

図8 第7パートで表示したスライド

腹部大動脈下端剥離 - 手技のポイント

- ・ライトアングルを用いて、大動脈右壁を露出させ、徐々に左側へと剥離を進め、下腸間膜動脈の根部を露出させ、下腸間膜動脈を結紮切離して、さらに剥離を左側へと進め大動脈全体を露出させ、umbilical (臍帯) テープにてテーピングする。
- ・術者の親指と示指で大動脈挟み込むようにして腹側に持ち上げることで、腰動脈の存在を確かめることができる。腰動脈の損傷を防ぐためにも大事。

図5 第4パートで表示したスライド

左異型肝動脈確認 - 手技のポイント

- ・左異型肝動脈は、肝胃間膜を挟むようにして確認できる。
- ・左異型肝動脈が存在する場合、肝胃間膜の切離は行わない。

図9 第8パートで表示したスライド

摘出までのながれ

- ・ 開腹
- ・ 腹腔内観察
- ・ 脈管剥離
- ・ カニューレション
- ・ 還流
- ・ グラフト摘出
- ・ 閉腹

図6 第5パートで表示したスライド

胃十二指腸動脈確認 - 手技のポイント

- ・肝十二指腸間膜の解剖が分かりづらい場合、肝動脈を胃十二指腸動脈に誤って同定・剥離している可能性があるため、胃十二指腸動脈にかけたテープを腹側に引っ張り上げ、肝門部に動脈性の拍動があるかを確認する習慣をつける。

図10 第9パートで表示したスライド

横隔膜下大動脈テーピング - 手技のポイント

- ・食道を損傷しないよう、食道の位置を確認して、助手に食道を指で左側に圧排してもらおう。
- ・大動脈を結合組織から十分剥離するのがコツ。
- ・万が一動脈損傷などのトラブルがあればすぐに血流遮断を行う。
- ・アリス鉗子などで、横隔膜脚を左右に把持拳上すると切離しやすい。

図 11 第 10 パートで表示したスライド

肝十二指腸間膜 脈管処理

- 総胆管、胃十二指腸動脈切離

- ・総胆管は臍上縁で切離
- ・胃十二指腸動脈臍臓側は切離端にマーキング

図 15 第 14 パートで表示したスライド

カニューレション

胸部チーム、看護師、コーディネーターとの合意のもとで開始

全身ヘパリン化 (400 U/kg, 3分)



腹部大動脈に灌流用チューブの挿入



26または28Frイリゲーションチューブ
約5cm挿入し固定

下大静脈に脱血用チューブの挿入 (肺採取がある場合)



34または36Frイリゲーションチューブ
約5cm挿入し固定

横隔膜下大動脈クランプ、灌流開始

胸部チームは上行大動脈を同時にクランプ

図 12 第 11 パートで表示したスライド

肝十二指腸間膜 脈管処理

- 総肝動脈、門脈切離

- ・臍臓上縁から 5mm 程度肝側で処理する。
- ・切離までに臍臓チームと十分に話しあっておく。

図 16 第 15 パートで表示したスライド

大動脈・下大静脈カニューレション - 手技のポイント

- ・カニューレの挿入が深すぎると、腎動脈を超えてしまうので挿入は 5 cm 程度に留める。
- ・近位側のumbilical (臍帯) テープは、5mm 程度遊びを作ってカニューレにも固定する。
- ・臍帯テープ一重で緩ければ、1-0 絹糸で結紮を加える。
- ・しっかり固定できるまでチューブを離さない。

図 13 第 12 パートで表示したスライド

肝臓採取 - 手技のポイント

- ・副腎を切離し、肝腎間膜を切離後、肝下部 IVC を剥離し、左腎静脈直上で切離。
- ・下大静脈を背面の筋肉をつけながら頭側へと切り上げる
- ・左横隔膜を縦に切離し、次に右横隔膜を切離、肝臓を左前腕の中にかかえ込むようにしながら背面へと回り込み肝臓を採取する。
- ・引っ張りすぎによる右三角間膜からの肝の損傷に注意。
- ・右腎を傷つけないように助手が足側に牽引する。

図 17 第 16 パートで表示したスライド

横隔膜下大動脈クロスクランプ・灌流開始 - 手技のポイント

- ・全身ヘパリン化 (400U/kg, 3分) : 胸腔チームとの合意のもと、ヘパリンを全身投与し、3分間待つ。
- ・灌流は高低差 1m で行い、UW 滴下スピードは、1 本目は全開で開始し、2 本目は緩徐に行う。
- ・肝臓は灌流終了後、腫大なく、肝臓の色調が均一に淡褐色であれば問題ない。

図 14 第 13 パートで表示したスライド

C. 研究結果

(1) 3DCG アニメーション

本年度制作した 3DCG アニメーションは、肝臓臍臓同時摘出手技を対象としたが、この手技では肝臓単独摘出手技と比べ、小腸や大腸といった臓器を大きく動かす操作や、狭い術野で複数の助手が操作を行う場面が多く含まれた。そこで、臓器を把持する手の方向や助手の位置の再現に重点を置いた。一方で、器具の操作によって複数の手が交錯するような場面においては、わかり

やすい表現となるように、器具のみを表示し手の表示を省略するといった工夫を行った。

以下に、複数の助手の手が含まれるシーケンスの例を挙げる。図 18 は C03 シーケンスにおける、胃小弯付近の小網切離の場面である。助手が胃を引きつつ術者が小網を切り上げる操作を行っているが、切り上げる箇所をわかりやすくするよう、切り上げに使用するメツェンバウムを把持する手を省略して表現している。

さらに図 19 に示した C08 シーケンスの肝臓摘出においては、横隔膜を大きく切離する動作が含まれる。この時、手の動きのみで切離する箇所を表現することが困難であった。そこで、横隔膜の前面にある肝臓を半透明で表現し、切離すべき箇所をラインアニメーションにて示すことで、よりわかりやすい表現とした。

肝臓単独摘出の 3DCG アニメーションについては、昨年度の研究活動において、一連のシーケンスを制作していたが、eラーニングコンテンツとして利用する際に、より細かい手技の表現が必要となる箇所があった。特に、膜状の組織内に存在する血管の確認作業については、細かい指の動きまで表現することが要求された。例えば図 20 に示す A05 シーケンスでの右異型肝動脈の確認では、両手の親指と人差し指で肝十二指腸間膜をつまむという動作を行っている。こうした細かい動作についても表現するよう、アニメーションの修正や追加を行った。

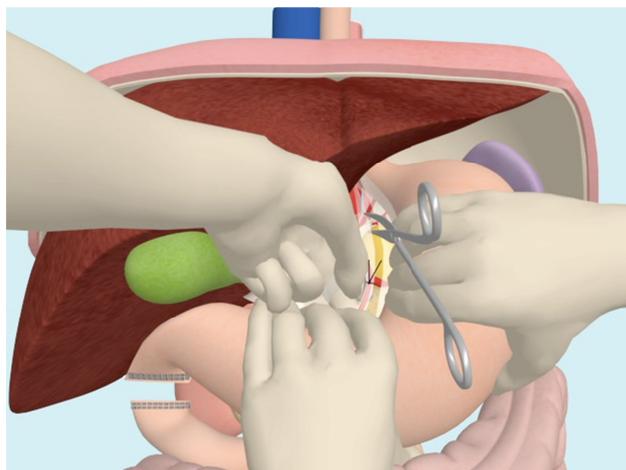


図 18 C03 シーケンス 胃小弯側の小網切離

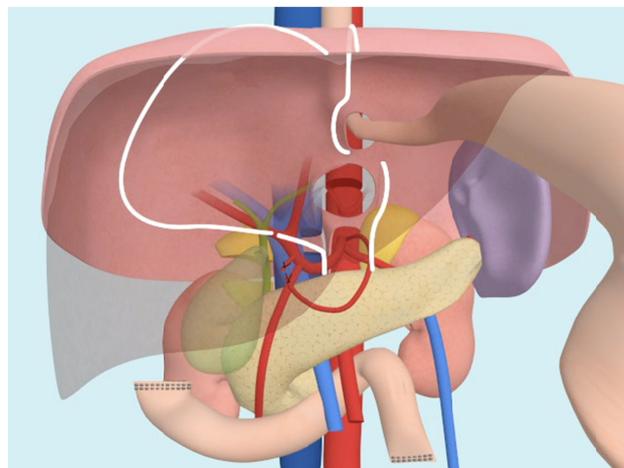


図 19 C08 シーケンス 肝臓摘出

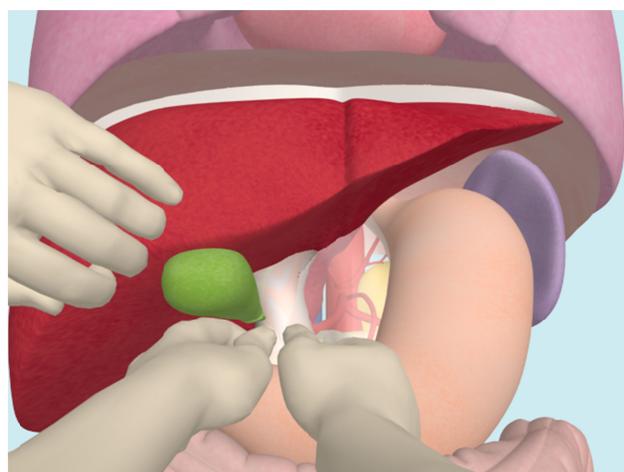


図 20 A05 シーケンス 右異型肝動脈の確認

(2)eラーニング

eラーニングの構築においては、上記の 16 パートについて、スライドと同時に表示されるよう、アニメーションの再編集を行った。また、各パートの説明については、アナウンスの専門家を起用し、ナレーションを付加した。

構築した eラーニングコンテンツは、インターネット上で試験的に公開し、研究代表者ら専門医による動作ならびに内容について検証を行った。

さらに、当該コンテンツについては、2014 年 4 月現在、日本移植学会のウェブページ上で、会員向けに限定公開すべく、準備を進めている。

図 21 に、本年度構築した eラーニングコンテンツの画面構成を示した。



図 21 構築した eラーニングコンテンツの画面構成

D. 結論

本年度の研究では、昨年度の肝臓単独摘出手術の 3DCG アニメーション制作に引き続き、肝臓脾臓同時摘出手術の 3DCG アニメーションの制作を行った。加えて、肝臓単独摘出手術については、本 3DCG アニメーションをベースとした eラーニングコンテンツを構築し、インターネット上での試験的な公開により検証を行った。

E. 研究発表

学会発表

渡辺和史, 弓削綾香, 盛川浩志, 河合隆史, 古川博之: 脳死ドナー多臓器摘出手術の教育アニメーション制作, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.320-321, 2013