

2011.07.13  
人工知能学会 第13回知識・技術・技能の伝承支援研究会

## 内視鏡手術手技の 遠隔指導／自習システムの開発

山下 樹里\* 横山 和則\*\*

\*: (独)産業技術総合研究所  
ヒューマンライフテクノロジー研究部門  
\*\*: 医療法人 健南会 花クリニック南大通り

## 内視鏡下手術とは

- 内視鏡手術：低侵襲手術
  - 小さい傷口(開創) → 早期回復
  - 手術操作が難しい
- 従来型の手術：大きく開創(切り開く) = Open surgery

## 内視鏡下手術はなぜ難しい？

- 術者と患者の距離が増加、より間接的に、操作空間は狭く、...

Hand-Eye Coordination Psycho-motor Skill

## 内視鏡下手術の学習曲線

- 例：腹腔鏡下胆嚢摘出術
  - ← 初期段階の技能研修支援が重要

## 自動車運転教習に例えると...

自動車運転教習	手術手技教育の現状	目指すべき手技教育
教習車	手術器具類	手術器具類
教官	指導医	指導医
教習コース	指導医の下でのO.J.T	手術できる患者モデル(シミュレータ)
修了検定試験	指導医の主観評価	指導医の主観評価 + 手技技能客観評価指標
路上教習	[指導医の下での] O.J.T	指導医の下でのO.J.T
卒業検定試験	指導医の主観評価	指導医の主観評価 + 手技技能客観評価指標

## 技能伝承の観点では

- 機器の進歩が速い
- ソロ・サージェリー化
  - 医療費(人件費)抑制
- 超多忙、人手不足の現場
  - マンツーマン指導してくれる指導医が側にいる？
  - 学会の講習会に出席できる？ ... 医師の偏在
- 閉鎖的

マンツーマンの「二人羽織」指導は限界

**手術技能研修支援環境の研究開発**

- 対象: 内視鏡下鼻内手術  
耳鼻科: 慢性副鼻腔炎、脳外: 経蝶形骨洞下垂体手術
- 目的: 手術技能研修の安全性・効率向上
- 要素技術:
  1. 安全に研修できる「教習コース」
    - ← 手術可能な精密ヒト鼻腔モデルを開発
  2. 指導医による評価を助ける「検定試験」
    - ← 技能レベル分析と客観評価指標の開発
  3. 技能の伝達を容易にするトレーニングシステム
    - ← 自己像と教師画像を呈示する遠隔指導／自習システムの開発

**1. 手術できる患者実体モデルの開発**

対象: 内視鏡下鼻内手術

副鼻腔 Paranasal Sinuses 危険部位(動脈・視神経・脳)に隣接

副鼻腔 Ethmoid Sinus 前頭鼻 Frontal Sinus 蝶形(骨)洞 Sphenoid Sinus 上顎洞 Maxillary Sinus 副鼻腔 Ethmoid Sinus

構造が複雑だが、動物／人工モデルなし  
→ 実体モデルの開発が必要

**精密ヒト鼻腔モデルの開発 1/3**

- CT 画像より骨の立体形状を抽出

**精密ヒト鼻腔モデルの開発 2/3**

- CT に写らない副鼻腔壁を CAD で補正

**精密ヒト鼻腔モデルの開発 3/3**

- 粉体積層造形+樹脂膜 → 実体モデル化
- 手術時の手応えも再現

**手術可能な精密ヒト鼻腔モデル**

- 精密な形状を再現
- 手術時の手応えもかなり実物に近い
- 見た目も良い

↓

(有)サージ・トレーナー起美産総研ベンチャー認定  
2004.06耳鼻科向け／  
2005.12脳外向け販売開始  
2006より学会ハンズオンで採用

**現実(実体モデル)は仮想(VR)に優る**

- リアリティ: 献体 > 実体モデル > VR  
(特に変形・破断のダイナミクス)
- コスト: 献体 < 実体モデル < VR  
(力覚提示装置は壊れやすい)
- 手術器具: 献体・モデルは本物を利用
  - VR は少数の模擬 tool のみ
  - 新しい器具: 献体・モデル >> VR

**2. 技能レベル分析と客観評価指標開発**

- 手術操作情報を計測  
→ 客観的なスキル評価指標の抽出

光学式位置センサ  
PC  
内視鏡モニター  
6 DoF カ・トルクセンサ  
精密患者モデル

**技能レベル客観評価指標抽出**

- 熟練医-若手医師-医学生の手術操作を計測  
→ 熟練医との差を分析

若手医師は熟練医より  
- カ: 大  
- カの方向・画像が不安定

開放後右篩骨洞ガーゼ挿入

■ 症例数: 200 例以上  
■ 症例数: 10-50 例  
■ 症例数: 0-5 例  
■ 医学生

操作力の大きさの平均値 (N)  
操作時間(min)

**「術具操作が下手である」とは？**

- 患者に対して、手術器具の 位置／角度が 適切でない
- 手術器具同士の 位置／角度が 不適切

経験の浅い医師

姿勢悪い  
ぶれる  
(遠すぎる)

内視鏡画面では  
わからない  
動作の「型」

姿勢が  
まっすぐ  
ぶれない

動作安定せず  
器具の持ち方／軌道

動作安定  
高い再現性

**ハイパーミラー技術による自己像呈示トレーニング環境開発**

学習者

指導者

HyperMirror: 超鏡

合成・鏡像

学習者

うわー、姿勢悪い。あつ、右手が違う！

**3. 手技の遠隔トレーニングシステム**

- 目的: 遠隔でもマンツーマンに近い指導を

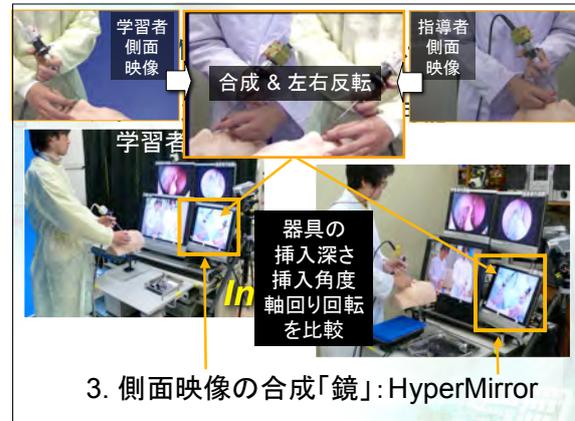
1. 互いの内視鏡画像を比較  
同じ視野が取れること

学習者サイト

指導者サイト

Internet

同じ形の鼻腔モデル、同じ手術器具



**4. 内視鏡画面の指示**

- 通常の対面指導での「画面を指差し指示」
  - 「ここを鉗除」
  - 「こちらを見て」
  - など

遠隔指導で実現

指導者

**デモおよび遠隔指導実験**

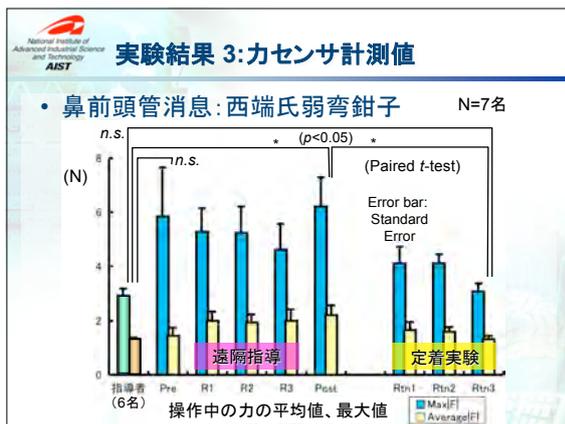
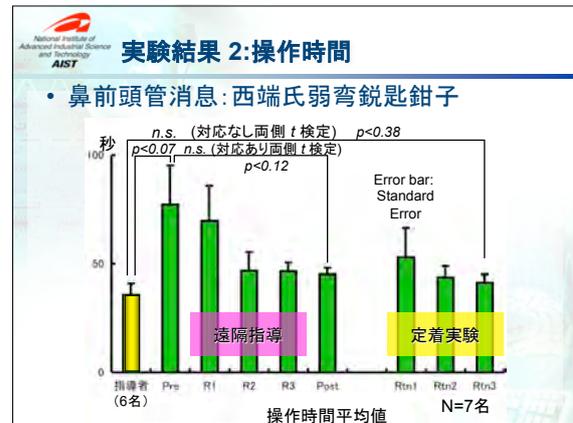
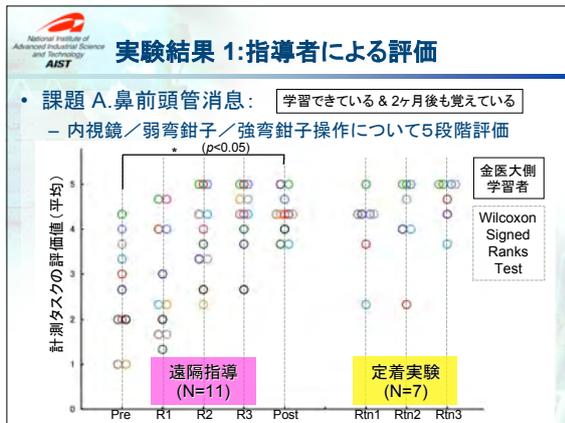
- デモンストレーション: 2007年5月17日～19日
  - 第108回日耳鼻 (金沢市)
- 手技遠隔指導実験: 2007年6月～7月上旬
  - 金沢医科大学 - 産総研 (茨城県つくば市)
  - 指導者: 金沢医大側3名、つくば側1名
  - 学習者: 金沢医大 5年生 11名、つくば側 9名 (主に学生)
- 定着検証実験: 2007年9月下旬
  - 金沢医大 7名、つくば側 8名

**手技遠隔指導実験**

- 手技: {A. 鼻前頭管消息, B. 上顎洞内吸引}
- A. 鼻前頭管消息
  - 30度鏡で観察
  - 西端氏 弱弯 鋭匙鉗子で消息
  - 西端氏 強弯 鋭匙鉗子で消息

**手技遠隔指導実験**

- 実験手順:
  - 事前計測: お手本ビデオ視聴 + 計測3分
  - 遠隔指導・計測: (2日間) (指導10分 + 計測3分) x 3回 (つくば側学習者は2回)
  - 事後計測: お手本ビデオ視聴 + 計測3分
- 計測データ(下記は一部):
  - 課題の達成度: 指導者の主観評価(5段階)
  - 遠隔指導の精神的負荷: NASA-TLX
  - 学習者: 患者モデルにかけたカ・トルク



### 実験結果 4: 自己評価等

- 自己評価と指導者による評価の関係
  - 自己評価過大/過小の人あり
- 性格テスト: 主要5因子 (Big Five)
  - 協調性と遠隔指導者の疲労が逆相関

など

### 遠隔指導システム 考察

- 要点: 同じ視野、複数視点、自己像
  - 動作の正確な比較が可能
  - 3次元的な動作の記録は、1画面では無理
  - 手元だけでなく身体全体の俯瞰も必要
- ワークとツールに着目
- 操作者には装着物無し
  - キャリブレーション不要
  - 体格は人それぞれ

よくある動画マニュアルのパターン → 「適当に撮影したビデオ」では動作比較は困難

説明ビデオ

・説明  
・コメント

◀ タイトル ▶

### 遠隔指導実験 考察

- 遠隔指導方法の工夫
  - 手技操作の言語化: 位置・方向を、誤解無く、はっきりと、言葉で指示する必要あり
    - 用語の統一
    - 動作の分解/補助動作の追加
    - 手技の「形式知」化!!
  - 本システムならではの指導方法:
    - (例) 学習者の「できていない」状態をまねて、そこからの脱出方法を実演
    - 「連れ出し」指導?

 **遠隔指導実験 発展**

- 患者モデル (simulator) のみでは限界
  - 単純すぎる
    - Technical Skills、骨の構造まで
- OJT とのギャップ大
  - 出血対応、副損傷対応
  - 手術室スタッフとの連携

→ OR と医療技術ラボ間の  
高臨場感 遠隔手技指導システム

 **OR-医療技術ラボ間の遠隔手術指導**

- ORの臨場感の中で、安全に手技研修(筑波大)



1: 指導者内視鏡 2: 学習者内視鏡  
3: 正面HM 4: 側面HM

 **課題 と 展望**

- 鼻腔モデル・OR映像とも、症例蓄積を要する
  - 解剖/症例のバリエーション
- 個別患者鼻腔モデル開発期間の短縮
  - 現在は2ヶ月以上 --> 2週間程度に!
- 自習システム開発
  - 技能レベルの自動判定機能
  - 学習者にどうフィードバックするべきか?
- 研修カリキュラムの開発
  - 「東関東・東京高度医療人養成ネットワーク」  
筑波大他の大学で卒業研修カリキュラムを共有
- 他科・遠隔診療・他分野への応用
  - 整形外科ほか、工業分野での技能伝承

 **謝 辞**

本研究の一部は、下記助成金の援助を受けて実施された:

- 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
平成17年度産業技術研究助成事業  
「ハイパーミラーによる遠隔技能  
トレーニングシステムの研究開発」  
(平成17年7月~20年6月)
- (財)大川情報通信基金 2008年度研究助成  
「内視鏡下手術の遠隔指導システムの研究開発」  
(平成20年12月~21年11月)