

大学発アーバンイノベーション神戸 研究成果報告書



大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

研究課題名：遠隔ロボット支援手術の通信遅延に対する手術
手技絵の影響とトレーニング手法の探索

研究期間：2024年4月～2025年3月

交付決定額(研究期間全体)：2484千円

申請区分：一般助成型
課題番号：A〇〇〇〇〇〇

研究代表者：神戸大学 医学部
講師 原 琢人

1. 研究成果の概要

- ・ 遠隔ロボット手術における通信遅延の影響を定量的に評価
- ・ 日本製手術支援ロボットhinotoriを使用
- ・ 50 ms固定遅延および50–100 ms変動遅延環境を再現
- ・ 操作精度、エラー率、操作時間、学習曲線を解析
- ・ 遅延環境への適応可能性と個人差を明らかにした

2. 研究成果の学術的意義や社会的意義

- ・ **従来研究の限界**

通信性能評価中心

実際の手術手技評価は限定的

- ・ **本研究の新規性**

術者パフォーマンスを定量解析

学習曲線・プラトーを解析

「遅延適応能力」を科学的に評価

- ・ **学術的貢献**

遠隔手術教育学への貢献

手術工学・通信医療研究への展開

資格認定基準構築の基盤形成

5G通信発展により遠隔手術が現実化 通信遅延が大きな課題

- ・ **既存研究**

通信遅延で操作精度低下
エラー率増加
手術時間延長

- ・ **未解決課題**

どの程度適応可能か
訓練で克服できるか
個人差は存在するか
資格認定をどう行うか

通信遅延環境下で

- ・手術操作への影響を評価
- ・標準化訓練法を開発
- ・学習効果を解析
- ・個人差を評価
- ・資格認定へ応用可能な指標を構築

最終目標：安全な遠隔ロボット手術社会実装

5. 研究の方法

使用機器

hinotori™

対象者

RARP指導者8名
(遅延環境経験なし)

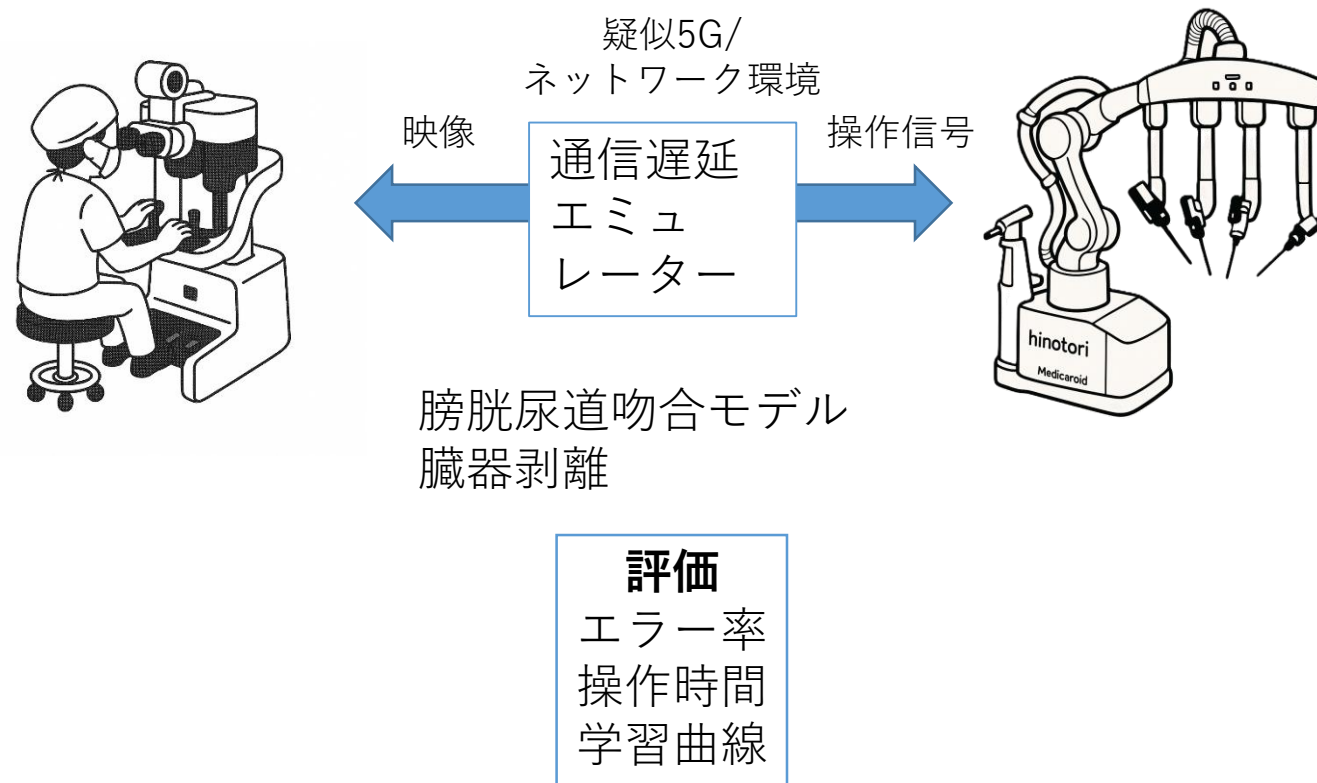
通信条件

50 ms固定遅延

50-100 ms変動遅延

評価課題

膀胱尿道吻合
臓器剥離



8名のRARP指導者を
4名ずつ2群に割付

参加者背景	groupA	groupB
泌尿器科医経 験年数,中央値 (範囲)	18.5(10-30)	20(11-27)
RARP経験数, 中央値(範囲)	62(33-200)	68(40-125)

セッ ション	groupA	groupB
1回目	遅延なし	遅延なし
2回目	遅延なし	遅延なし
3回目	50 ms固定遅延	50-100 ms変動
4回目	50-100 ms変動	50 ms固定遅延
5回目	50 ms固定遅延	50-100 ms変動
6回目	50-100 ms変動	50 ms固定遅延
7回目	50 ms固定遅延	50-100 ms変動
↓ 8回目	50-100 ms変動	50 ms固定遅延

6. 研究成果 ②



評価項目	遅延なし(初回)	50 ms固定遅延(初回)	50-100 ms変動遅延(初回)
操作時間(秒)	840 ± 49	1051 ± 80**	1141 ± 101**
針の持ち替え回数	59.5 ± 4.4	66.8 ± 5.5*	72.5 ± 6.5**
針落下回数	0.3 ± 0.5	0.8 ± 0.5*	1.4 ± 0.5**
NASA-TLX 平均点	34.4 ± 4.3	50.1 ± 5.3**	63.1 ± 7.2**

評価項目	遅延なし(2回目)	50 ms固定遅延(3回目)	50-100 ms変動遅延(3回目)
操作時間(秒)	833 ± 55	903 ± 51*	983.9 ± 82**
針の持ち替え回数	58.3 ± 4.1	61.1 ± 4.6	66.0 ± 5.4*
針落下回数	0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5	0.4 ± 0.5
NASA-TLX 平均点	32.0 ± 4.0	39.9 ± 4.6*	53.0 ± 6.4**

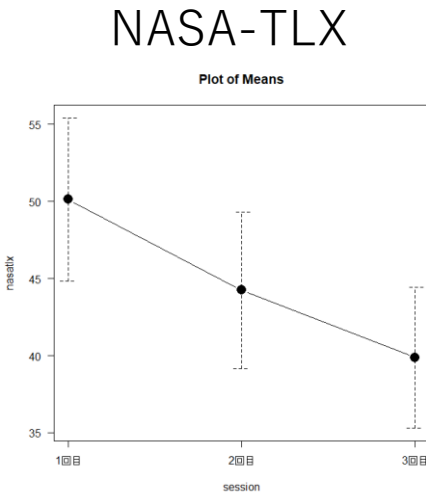
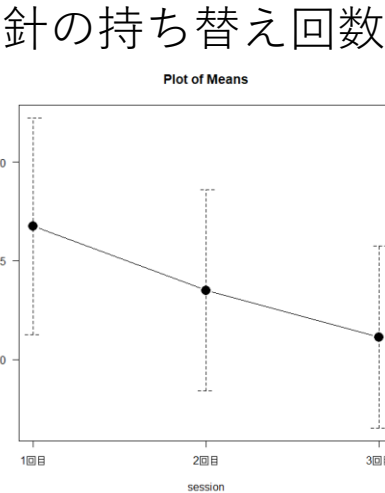
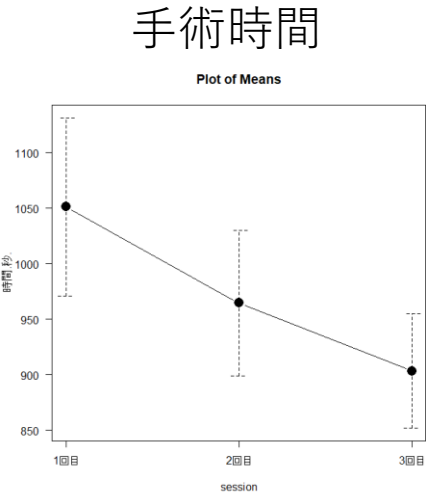
*<0.05 **<0.001

回数を重ねるごとに遅延環境と通常環境の差が小さくなる傾向がみられた

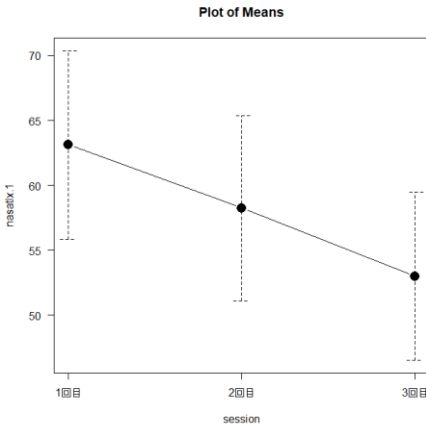
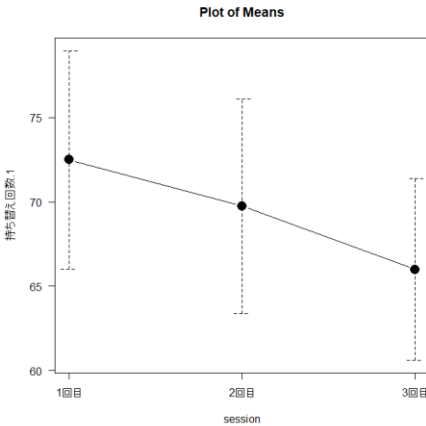
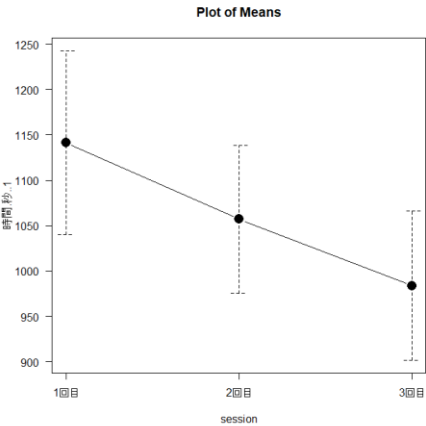
6. 研究成果 ③



固定遅延
(50ms)



変動遅延
(50-100ms)



いずれの指標も回数を重ねると改善が得られた

6. 研究成果 ③ 考察と限界

- ・ 通信遅延により操作時間、エラー、認知負荷が増加
- ・ 特に変動遅延で影響が顕著
- ・ セッション反復により適応学習を認めた
- ・ 一方、NASA-TLXは高値を維持
- ・ 技術的適応と認知負荷は必ずしも一致しない可能性
- ・ 遠隔手術では「変動」が重要因子

一方、近年のQoS・5G SA技術進歩により
実環境での遅延変動は以前より抑制されつつある

6. 研究成果 ④ 成果発表・社会実装への展開

英語論文

Takuto Hara, Yoshifumi Morihiro, Yuki Horise, Shuhei Komatsu, Masanao Ohashi, Hiroaki Kitatsuji, Akihisa Yao, Yoshihiro Muragaki, Hideaki Miyake、 Toward safe clinical deployment of remote robotic surgery in Japan: five-year validation of the hinotori™ system using 5G wireless communication、 Int J Clin Oncol. 2025 Dec;30(12):2389-2398.

国際学会 シンポジウム

原 琢人, 八尾 昭久, 三宅 英明、 Current Status of Telesurgery in Japan、 Society of Robotic Surgery Annual Meeting 2025(ストラスブール、フランス)、2025年

国内学会 シンポジウム

原 琢人, 八尾 昭久, 三宅 英明、 遠隔ロボット手術の社会実装に向けて、第113回日本泌尿器科学会学術総会(京都)、2026年