

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：55401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659253

研究課題名(和文)基本手術手技伝承システムの開発

研究課題名(英文)Development of Basic Surgical Technique Transfer System

研究代表者

岩本 英久(Iwamoto, Hidehisa)

呉工業高等専門学校・機械工学分野・教授

研究者番号：40232714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：基本手術手技伝承システムを開発するために、外科医の運針動作をモデル化した。外科医による運針動作は4台のCCDカメラを用いて記録した。外科医は普通の運針、深い運針、浅い運針の3種類について、縫合深さを意識した随意動作を行った。持針器の位置と速度は3次元動作解析ソフトを用いて分析した。その結果、運針動作は刺入動作と引抜動作で構成され、刺入動作は縫合針を突き刺す直線動作と縫合針の湾曲に沿って操作する曲線動作に分類できた。縫合深さは直線動作の角度とその長さに依存していた。引抜動作において、一定の角度と速度で引抜いていた。

研究成果の概要(英文)：Suturing motion was modeled to develop the basic surgical technique transfer system. Surgical needle handling motion by surgeon was recorded from 4 direction using 4 CCD cameras. A surgeon sutured optionally, being conscious of shallow, deep and middle depth. Suturing motion was analyzed on position and velocity of needle-holder by three-dimensional coordinate measurement software. In results, surgical needle handling motion was composed of prick motion by surgical needle and pull up motion of the needle and thread. The prick motion was divided into straight motion that was pierced in tissue, and curve motion that was operated along curvature of the needle. Suture depth in the prick motion was depended on the angle and length of the straight motion. In the pull up motion, the angle and velocity of the needle and thread was constant.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：境界医学・医療社会学

キーワード：動作解析 基本手術手技 運針動作 伝承システム

1. 研究開始当初の背景

現在までに、手術における巧みさを定量的に評価するために、熟練外科医の動作をビデオで録画し、その動きを解析する研究があった。しかし、その成果は、熟練外科医のすばらしい個性として認められるが、一般的な外科医の動きに当てはまることはなく、若手の外科医に推奨されることは無かった。一方、外科医の体型は異なり、使用する器械、患者の性別や年齢あるいは症状によって手術野（患部環境）に違いがある。つまり不確定要素が多く、解析対象を熟練外科医に限定するだけでは、適切な成果を求めることができなかった。

そこで本研究では、外科医の巧みさを熟練外科医の動作ではなく、使用する手術器械の動かし方に注目し、すでに標準化されている手術器械において、ある手術野を仮定すれば、唯一、手術器械の形状に基づく適切な動かし方が存在することを示すことができた（研究代表者筆頭論文「外科手術における運針動作の分析-ロボットを用いた運針動作のモデル化-」日本経営工学会論文誌 Vol.58.No.3 pp.208-217, 2007年8月）。特に、不確定要素を排除するために、外科医の動作ではなく、ロボットを用いて、手術手技を再現し、動作の質（例えば、組織損傷量や出血量の少なさ）を評価する研究手法を提案した点が独創的であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、基本手術動作の標準化し、手術支援機器を開発し、若手外科医への技能伝承支援のために、基本手術手技を伝承するシステムを開発することである。

(1) 基本手術動作の標準化

切離、止血、縫合に分類される外科手術における基本動作を解析する。手術手技の向上を目指すために、定量的かつ客観的で質の高い動作を設計し、標準化を行う。

(2) 手術支援機器の開発

外科医の基本手術動作を支援するシステムや機器あるいは用具を開発する。また現在ではロボット外科が医療現場に普及しているので、あらたな手術用ロボットを開発する資料となりうる手術器械の適切な動かし方を提案する。

(3) 若手外科医への技能伝承支援

質の高い動作を構築することにより、若手外科医に対して適切な基本手術手技を教育することに役立つ、技能伝承支援システムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 運針動作について

運針動作は、縫合針を刺入する動作と引抜く動作で構成されている。刺入動作は、縫合針を被運針組織に刺入し、組織を取り込む動作である。引抜き動作は、縫合針先端が組織表面から刺出した際に、ピンセットで針先を

持ち替えて縫合針を引抜く動作である。縫合針には結さつ糸を付けて、被運針組織内に結さつ糸を通して縫合する。刺入動作は、縫合針を被運針組織に直線的に突き刺す動作と、縫合針を曲線的に動かす動作で構成される。

(2) 座標の定義：縫合針の動きを表現するために、図1に示すように座標系を定義する。刺入目安点を原点とする。被運針組織表面にある刺入目安点と刺出目安点を結ぶ線分を X 軸とし、刺出目安点側を正とする。X 軸の垂直方向を Y 軸とし、下方向を正とする。被運針組織の厚さ方向を Z 軸とする。

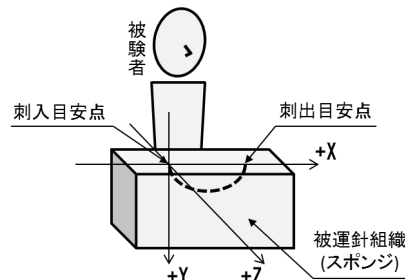


図1. 軸の定義

(3) 実験機器

実験には、CCD カメラを4台 (SONY-DCR-SR300を3台, HDR-CX630Vを1台)、被運針組織 (スポンジ) (アズマ工業)、被運針組織固定用具、ヘガール型持針器 (瑞穂医科工業 (株) MES-CF06-796-00)、縫合針 (五十嵐医科工業 (株) 強彎, パネ, No.8, 針長 45mm)、画像結合器 (AVC704R)、PC (録画ソフトウェア honestech VHS to DVD 2.5 SE)、動画編集ソフト (AviUtl, 1 フレーム 1/30sec) を使用する。

(4) 実験機器の配置

実験機器の配置を図2に示す。運針対象物に対して、Z 軸方向に設置する CCD カメラをカメラ a、X 軸方向に設置する CCD カメラをカメラ b およびカメラ d とし、Y 軸方向に設置する CCD カメラをカメラ c とする。カメラ a は縫合針を正面から撮影し、縫合針の運針軌道や針先の動きを記録する。カメラ b は被験者の右側から、カメラ d は被験者の左側から縫合針を撮影し、Z 軸に対する縫合針の傾きを記録する。カメラ c は縫合針を上から撮影し、刺入点、刺出点および縫合幅を撮影する。

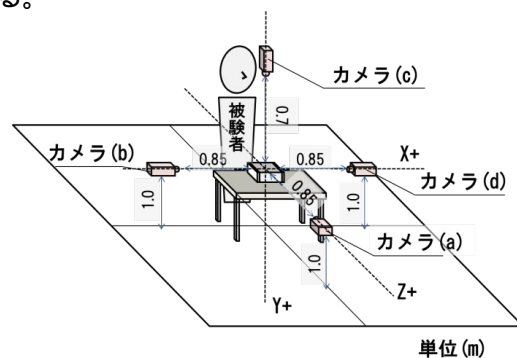


図2. 実験器具の配置

(5) 運針条件

被運針組織（スポンジ）には、図3に示すようにマーカーを用いて目安点を設定する。目安点の設定条件は、刺入点のみに目安点を設ける場合と、刺入点および刺出点の二点に目安点を設ける場合とする。外科医は、運針深さに関して、浅い運針、深い運針、中間の深さの随意運針を行う。

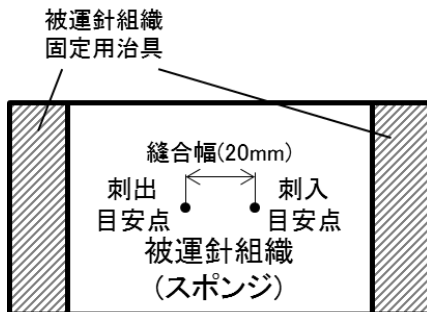


図3. 目安点の設定

表1に6種類の実験条件を整理する。各条件は、それぞれ8回繰り返しの運針を行い、動画を記録する。

表1 運針動作条件

	刺入目安点のみ設定	刺入目安点および刺出目安点を設定
浅い運針	AS	BS
中間の運針	AM	BM
深い運針	AD	BD

(6) 刺入動作の定義と解析

縫合針の針先が被運針組織に刺入し始めてから、外科医が持針器を縫合針から外し始めるまでを刺入動作とし、解析を行う。縫合針を直接的に突き刺す動作（直線動作）と、縫合針を曲線的に動かす動作（曲線動作）について、XY面、YZ面における解析を行う。

(7) 縫合針引抜動作

引抜動作における縫合針の引抜動作について、引抜速度と引抜角度に関して解析を行う。

引抜速度の定義：縫合針の引抜動作において、画像解析によって得られた把持点のXYZ座標より、1フレームごとの点間速度を算出し、平均速度を縫合針の引抜速度とする。

引抜角度の定義：縫合針引抜角度は以下のように定義する。縫合針の引抜動作において、画像解析により得られた把持点のXY座標とZY座標から、最小二乗法により線形近似を行う。XY座標で近似した直線とX軸が交わる角度をXNとし、正面方向の引抜角度とする。ZY座標より近似した直線とZ軸が交わる角度をZNとし、側面方向の引抜角度とする。

(8) 結さつ系引抜動作

引抜動作における結さつ系の引抜動作に関して、引抜速度と引抜角度に関して解析を行う。

引抜速度の定義：結さつ系の引抜動作において、画像解析によって得られた縫合針目処のXYZ座標より1フレームごとの点間速度を算出し、平均速度を結さつ系の引抜速度とす

る。

引抜角度の定義：結さつ系の引抜角度は以下のように定義する。結さつ系の引抜動作において、画像解析により得られた縫合針目処のXY座標とZY座標から、最小二乗法により線形近似を行い、XY座標で近似した直線とX軸が交わる角度をXTとし、正面方向の引抜角度とする。ZY座標より近似した直線とZ軸が交わる角度をZTとし、側面方向の引抜角度とする。

4. 研究成果

(1) 刺入動作の解析結果

XY面における直線動作の刺入角度 s_x : XY面における直線動作の刺入角度 s_x について、各条件の解析結果は以下の通りであった。条件ASは49°（平均値）、条件AMは56°、条件ADは66°、条件BSは52°、条件BMは54°、条件BDは65°であった。条件ASと条件ADは統計的に有意差が認められた。条件AS、AM、BS、BMについて有意差が認められなかった。平均値は52°となった。条件ADと条件BDについて有意差が認められなかった。平均値は66°となった。

YZ面における直線動作の刺入角度 s_z : YZ面における直線動作の刺入角度 s_z について、各条件の解析結果は以下の通りであった。条件ASは70°、条件AMは73°、条件ADは75°、条件BSは73°、条件BMは67°、条件BDは65°であった。YZ面における直線動作の刺入角度 s_z では、各条件について有意差が認められなかった。全実験条件の平均値は71°となった。

直線動作の刺入長さ L_s : 直線動作の刺入長さ L_s について、各条件の解析結果は以下の通りであった。条件ASは5.5mm、条件AMは6.8mm、条件ADは8.5mm、条件BSは6.6mm、条件BMは7.1mm、条件BDは12.0mmであった。条件ASと条件ADに有意差が認められた。条件BSと条件BDに有意差が認められた。条件BMと条件BDに有意差が認められた。条件AS、AM、BS、BMには有意差が認められなかった。平均値は6.6mmとなった。条件ADと条件BDについて有意差が認められなかった。平均値は11.3mmとなった。

XY面における曲線動作の半径 R_c : XY面における曲線動作の半径 R_c について、各条件の解析結果は以下の通りであった。条件ASは12.7mm、条件AMは15.4mm、条件ADは16.1mm、条件BSは12.6mm、条件BMは15.1mm、条件BDは12.3mmであった。YZ面における曲線動作の半径では、各条件について有意差が認められなかった。全実験条件の平均値は14.0mmであった。

YZ面における曲線動作の縫合角度 c_z : YZ面における曲線動作の縫合角度 c_z について、各条件の解析結果は以下の通りであった。条件ASは74°、条件AMは75°、条件ADは76°、条件BSは76°、条件BMは76°、条

件 BD は 76° であった。YZ 面における曲線動作の縫合角度では、各条件について有意差が認められなかった。全実験条件の平均値は 76° となった。

(2) ロボットにおける刺入動作のモデル化

YZ 面から見た刺入角度 sz と縫合角度 cz は、どの実験条件においても有意差が無く、一定の角度で運針されていることが明らかとなった。刺入角度 sz は解析結果から、70° とした。縫合針角度 cz は解析結果から、75° とした。XY 面から見た半径 Rc はどの条件においても有意差が無く、一定の半径で運針されていることが明らかとなった。半径 Rc は解析結果から 14mm とした。解析によって得られた半径 Rc は、縫合針の半径 14.5mm に近い値であるため、曲線的動作は縫合深さに関係なく、縫合針円に沿って運針されるのではないかと考えられた。XY 面から見た刺入角度 sx と刺入長さ Ls は、浅い運針と深い運針で有意な差があることが明らかとなった。解析結果から、浅い運針における刺入角度 sx は 50°、刺入長さ Ls は 7mm とした。深い運針における刺入角度 sx は 65°、刺入長さ Ls は 11mm とした。曲線動作が縫合深さに関係なく、縫合針円に沿って運針されることから、浅い運針と深い運針で有意な差があることから、最大縫合深さは、直線的動作に依存し、刺入角度と刺入長さによって決まると考えられた。

(3) 縫合針引抜速度

縫合針引抜速度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 60 mm/s (平均値)、AM は 91 mm/s、AD は 79 mm/s、BS は 60 mm/s、BM は 62mm/s、BD は 67 mm/s であった。縫合針引抜速度に関しては、A 内では有意差が認められた。AM と BM では有意差が認められた。それ以外の条件では有意差が認められなかった。

(4) 縫合針引抜角度

正面方向縫合針引抜角度 XN：正面方向縫合針引抜角度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 107° (平均値)、AM は 100°、AD は 116°、BS は 111°、BM は 109°、BD は 122° であった。正面方向縫合針引抜角度に関しては、どの条件においても有意差は認められなかった。

右側面方向縫合針引抜角度 ZN：右側面方向縫合針引抜角度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 73°、AM は 72°、AD は 70°、BS は 70°、BM は 64°、BD は 65° であった。右側面方向縫合針引抜角度に関しては、AM と BM では有意差が認められた。

(5) 結さつ系引抜速度

結さつ系引抜速度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 189 mm/s (平均値)、AM は 254 mm/s、AD は 212 mm/s、BS は 190 mm/s、BM は 176 mm/s、BD は 185mm/s であった。結さつ系引抜速度に関しては、AM と BM では有意差が認められた。それ以外の

条件では有意差は認められなかった。

(6) 結さつ系引抜角度

正面方向結さつ系引抜角度 XT：正面方向結さつ系引抜角度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 60° (平均値)、AM は 60°、AD は 66°、BS は 56°、BM は 59°、BD は 64° であった。正面方向結さつ系引抜角度に関しては、どの条件においても有意差は認められなかった。

右側面方向結さつ系引抜角度 ZT：右側面方向結さつ系引抜角度について、解析結果は以下の通りであった。実験条件 AS は 77°、AM は 78°、AD は 77°、BS は 77°、BM は 77°、BD は 78° であった。右側面方向結さつ系引抜角度に関しては、どの条件においても有意差は認められなかった。

(7) 引抜動作のモデル化

縫合針引抜速度に関しては、AM と BM について有意差が認められた。また、A 内でも有意差が認められた。AM の引抜速度平均値は 91mm/s、BM の引抜速度平均値は 62mm/s であった。AS の引抜速度平均値は 60mm/s、AD の引抜速度平均値は 80mm/s であった。しかし、条件 A と B について分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。したがって、縫合針引抜速度は、全条件の平均値をとって 70mm/s でモデル化が可能であると考えられた。

縫合針引抜角度に関しては、正面方向の縫合針引抜角度 XN については、どの条件においても有意差が認められなかった。したがって、XN は全条件の平均値をとり、X 軸に対して 111° の直線的な動作でモデル化が可能であると考えられた。右側面方向の縫合針引き抜き角度 ZN に関しては、AM と BM で有意差が認められた。AM における ZN の平均値は 72°、BM における ZN の平均値は 64° であった。しかし、条件 A と B について分散分析を行った結果、有意差があったが高度な有意差ではなかった。したがって、ZN は全条件の平均値をとり、右側面から見た Z 軸に対して、69° の直線的な動作でモデル化が可能であると考えられた。

結さつ系引抜速度に関しては、AM と BM で有意差が認められた。AM の引抜速度平均値は 254mm/s、条件の引抜速度平均値は 176mm/s であった。しかし、条件 A と B について分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。したがって、結さつ系引抜速度は、全条件の平均値をとり、202mm/s でモデル化が可能であると考えられた。

結さつ系引抜角度に関しては、正面方向、右側面方向ともに、どの条件においても有意差が認められなかったため、全条件の平均値をとって XT は 61°、ZT は 77° でモデル化が可能であると考えられた。

以上の結果より、縫合針引抜動作および結さつ系引抜動作は、実験条件に関わらず一つの動作でモデル化できると考えられた。

(8) 今後の課題

刺入動作については、ロボットで再現できるようにモデル化することができた。今後は、刺入パターンを設定し、ロボットによる再現実験を行い、動作の評価を行う予定である。また、縫合針および結さつ系の引抜速度と引抜角度に関しては、把持点座標の移動量によってモデル化を行った。しかし、実際の運針では、持針器によって縫合針の針先を把持し、回転運動を加えながら引抜動作を行っているため、今後は持針器の長軸における回転量を考慮した引抜動作のモデル化を行う必要があると考えられた。

(3)連携研究者 無し

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

H.Iwamoto, Y.Munesawa, M.Jindai, Y.Kajihara, V.Hirakami, S.Uemura, Analysis on Prick-Motion of Suture Needle by a Surgeon, The 12th International Conference on Industrial Management, 2014年09月03日~05日, 中国(Chegdu) 査読有

植村匠, 岩本英久, ロボットを用いた外科運針動作における組織損傷の解析, 第40回学生論文発表会予稿集, 2014年03月01日, 広島大学(広島市)

平上文明ピクター, 植村匠, 光成瞭, 守屋良治, 岩本英久, ロボットを用いた外科運針動作のモデル化(第1報, 刺入点を基点とする運針法の提案), 第20回機械材料・材料加工技術講演会, 2012年12月01日~02日, 大阪工業大学(大阪市)

植村匠, 平上文明ピクター, 光成瞭, 守屋良治, 岩本英久, ロボットを用いた外科運針動作のモデル化(第2報, 刺入点を基点とした運針法における組織損傷の解析), 第20回機械材料・材料加工技術講演会, 2012年12月01日~02日, 大阪工業大学(大阪市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等 無し

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩本 英久 (IWAMOTO, Hidehisa)

呉工業高等専門学校・機械工学分野・教授
研究者番号: 40232714

(2)研究分担者 無し