



# MR 採血訓練シミュレータのための 血管に対する注射針先端相対位置の表示方法の検討

伊藤晶<sup>1)</sup>, 齋藤正親<sup>1)</sup>, 菊地由紀子<sup>2)</sup>, 工藤由紀子<sup>2)</sup>, 水戸部一孝<sup>1)</sup>

1) 秋田大学大学院 理工学研究科 (〒 010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1, m8021503@s.akita-u.ac.jp)

2) 秋田大学大学院 医学系研究科 (〒 010-8543 秋田市本道 1 丁目 1-1)

**概要:** 看護師養成課程の学生の採血技術向上のため, 教師の採血動作を CG で提示する MR 採血訓練シミュレータを開発するとともに, 教師と同じ角度での採血を支援する表示方法を実装し, 採血中の注射器の姿勢の改善に成功した. 本研究では, 注射針先端に対する血管の位置を視覚化する複数の表示方法を新たに提案し, 各表示方法の有効性を実験により検討した.

**キーワード:** 教育・訓練, 作業支援・評価, 拡張・複合現実, ユーザインタフェース

## 1. はじめに

看護師養成課程において, 教員数, 演習時間の不足から, 学生が卒業までに十分な採血技術を修得できない問題が指摘されている [1]. また, 学生が自ら心身への侵襲を伴う看護技術を提供する機会を得にくくなっていることから, 臨床場を疑似体験できるようなシミュレータが求められている [2]. 臨床場を疑似体験可能な採血演習の手法として, 人間の腕を模した器具 (以下, 腕モデルと呼ぶ) を用いた訓練がある. この訓練は, 腕モデル内部の管に血液を模した液体を流し, それを注射器で採取するものである. この訓練の学習効果向上のため, 我々は MR 技術を応用した採血訓練シミュレータを開発した [3]. このシミュレータでは, 教師の採血動作を再現した CG の注射器を提示する. 学生は, CG の注射器に重ねるように実空間の注射器を動かすことで, 採血訓練に取り組む. また, CG の注射器と実空間の注射器との腕モデルに対する角度差を数字で提示する機能を搭載することで, 角度差を提示しない場合と比較して, 注射器の姿勢が改善した. 角度差を提示することで注射器の姿勢が改善したことから, 注射針の位置のずれを提示することで, 姿勢と同様に, 刺入位置を改善できるのではないかと考えた.

本研究では, 訓練中の注射器の位置の修正を支援するため, 血管に対する注射針の位置のずれを提示する方法を複数提案し, これらの方法の有効性について検討する.

## 2. 採血訓練シミュレータ

### 2.1 シミュレータのシステム構成

図 1 にシステム構成を示す. Meta2 は光学透過型の HMD であり, 視野角は 90°, リフレッシュレートは 72 Hz, ディスプレイ解像度は 2560 × 1440 ピクセル, カメラ解像度は 720 p である. Meta2 と PC は USB 3.0 および HDMI で接続されている. LIBERTY 240/8 (Polhemus Co.) は Transmitter に対する各 Receiver の位置・姿勢を最大サンプリングレート 240 Hz, 反応速度 3.5 ms で計測できる. 位



図 1: システム構成

置精度 (RMS) は 0.76 mm, 角度精度 (RMS) は 0.15°, 位置分解能は 0.0038 mm, 角度分解能は 0.0012° である. PC との接続インタフェースは USB 2.0 である. Receiver は腕モデルと注射器にそれぞれ 1 個ずつ装着しており, 位置・姿勢をリアルタイムに計測する.

開発環境には Unity を用いており, C# でプログラムを記述した. また, シミュレータのフレームレートは 60 Hz に設定した.

### 2.2 シミュレータの提示情報

本シミュレータの使用中は, CG で再現した手本の注射器および腕モデルが Meta2 越しに提示される. また, これに加えて腕モデルに対する手本の注射器と実空間の注射器との角度の差を示す数値も提示される. 手本の注射器の動きは, 看護師養成課程の教員の採血時の注射器の動きを再現したものであり, CG の腕モデルから採血するように動く. 学生はその動きを模倣することで採血訓練ができる. 角度差には実空間の注射器の姿勢の変化がリアルタイムに反映されるため, 学生は手本の注射器との角度のずれをいつでも確認できる. また, 角度差の数字の色は, 差が 0° に近づ

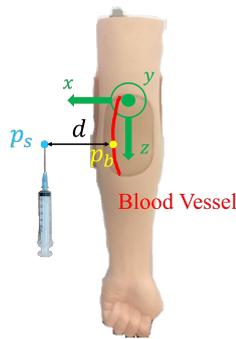


図 2: 注射器と血管の位置関係の例

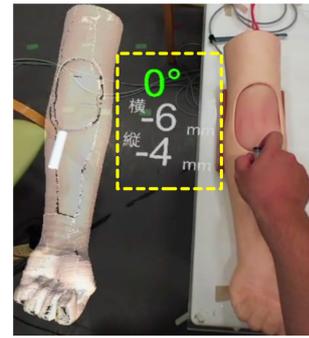


図 4: 表示方法 b

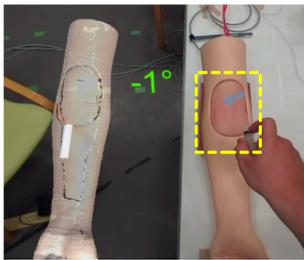


図 3: 表示方法 a

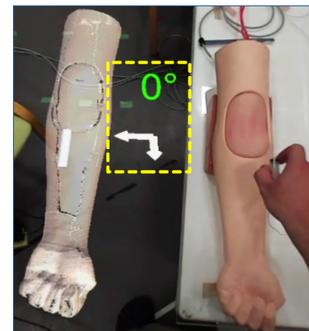


図 5: 表示方法 c

くほど緑色に、 $0^\circ$  から離れるほど赤色に連続的に変化する。

さらに、注射器の針先端位置の修正を支援するため、血管と注射針先端の位置のずれを 3 種類の方法で提示する。位置のずれには実空間の注射器の位置・姿勢の変化がリアルタイムに反映されるため、学生は血管と針先端の位置のずれを常に確認できる。

図 2 に注射器と血管の位置関係の例を示す。赤線は血管、緑の矢印は腕モデル上の 1 点を原点とする座標系を表す。注射針先端位置を  $p_s = (x_s, y_s, z_s)$ 、血管上の点を  $p_b = (x_b, y_b, z_b)$  とし、図 2 に示す  $z_s = z_b$  となる点  $p_r = (x_b, y_b, z_s)$  を比較点とする。血管の深さは、腕モデルの設計に合わせてパッド表面から深さ 4 mm とする。また、血管の太さは、腕モデルの設計に合わせて内径 3 mm とする。したがって、比較点と針先端の距離  $d$  が 1.5 mm 以下の場合、針が血管内に位置していると判定できる。以下では比較点と針先端の位置のずれの表示方法について述べる。

### 2.2.1 表示方法 a

図 3 に表示方法 a を示す。同図の緑の数字は角度差を表す。同図の黄の点線で囲った矢印は、注射針先端位置  $p_s$  を始点とし、血管の比較点  $p_r$  を終点とするベクトルであり、 $d$  に合わせて長さに変化するように実装した。また、 $d$  が短くなるほど連続的に矢印の太さを細くするように実装した。矢印は常に  $p_r$  を指し示しているため、矢印の向きに  $p_s$  を移動することで血管に針先端を近づけることができる。針先端が血管内に位置していると判定している間 ( $d \leq 1.5$  [mm]) は、矢印を提示しない。

### 2.2.2 表示方法 b

図 4 に表示方法 b を示す。同図の緑の数字は角度差を表す。黄の点線で囲った白の数字上段は  $d$  の  $x$  成分  $d_x$  を表し、 $d_x$  が正の場合は左方向に、負の場合は右方向に  $p_s$  が

ずれていることを表すように実装した。黄の点線で囲った白の数字下段は  $d$  の  $y$  成分  $d_y$  を表し、 $d_y$  が正の場合は上方向に、負の場合は下方向に  $p_s$  がずれていることを表すように実装した。

### 2.2.3 表示方法 c

図 5 に表示方法 c を示す。同図の緑の数字は角度差を表す。同図の黄の点線で囲った 2 本の矢印は、針先端位置  $p_s$  に対する比較点  $p_r$  の方向を表すように実装した。 $p_s$  を矢印の方向に移動することで、血管に針先端を近づけることができる。また、 $|d_x| \leq 1.5$  [mm] のときは左右の矢印が消え、 $|d_y| \leq 1.5$  [mm] のときは上下の矢印が消えるように実装した。 $|d_x| \leq 1.5$  [mm] かつ  $|d_y| \leq 1.5$  [mm] であるときは、上下左右すべての矢印が消えるように実装した。

## 2.3 実空間と CG の位置合わせ手法

本シミュレータでは、Transmitter を原点とする座標系で表現される Receiver の位置・姿勢情報をもとに、CG の表示位置・姿勢を決定している。しかし、Meta2 を介して提示される CG は Receiver とは異なる座標系で表現されている。そのため、CG を適切な位置に表示するためには 2 つの座標系が一致するように変換する必要がある。そこで本シミュレータでは、CG で再現した Transmitter オブジェクトを原点とする座標系ですべての CG を表現し、この Transmitter オブジェクトと実空間の Transmitter が重なって見えるように座標変換することで 2 つの座標系を一致させている。ただし、Transmitter オブジェクトと実空間の Transmitter を重ねられたかは被験者が目視で確認しているため、2 つの座標系が完全には一致しない場合がある。

3. 比較点と注射針先端の位置のずれの表示方法の評価実験

3.1 実験方法

注射針先端の位置のずれの表示方法の有効性について評価するため、開発したシミュレータを使い採血訓練を実施した。以下に実験条件を示す。

条件 a 表示方法 a と角度差を併せて提示

条件 b 表示方法 b と角度差を併せて提示

条件 c 表示方法 c と角度差を併せて提示

条件 d 角度差のみを提示

被験者には、手本の注射器の動きを模倣しながら採血を訓練するよう教示した。注射器を刺入してから抜去するまでを1試行とし、各条件で5試行、合計20試行の訓練を計測した。被験者は採血訓練の経験がない非医療系の学生8名とし、安全のために針を取り外した注射器を用いた。本実験は秋田大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。

3.2 実験結果

3.2.1 特定の被験者の注射針先端位置の変化の例

図6に各実験条件における被験者Aの注射針先端位置のy座標の経時変化の例を示す。同図(a)に条件a、同図(b)に条件b、同図(c)に条件c、同図(d)に条件dを示す。横軸は時刻、縦軸はy座標を示す。同図の緑線は被験者の注射針先端のy座標の経時変化、青線は腕モデルの表面のy座標、紫線は血管中心のy座標、赤線は血管内壁の上端と下端のy座標、黒線は手本の注射器の針先端を固定している期間（以下、固定期間と呼ぶ）の開始時刻と終了時刻を表す。

同図(a)より、針先端は血管に最初に刺さったのち、血管内壁の上端付近にとどまっていることが分かる。固定期間の針先端のy座標の最大値は-0.71mm、最小値は-3.60mm、差は2.89mm、平均は-2.55mm、標準偏差は0.51mmである。また、固定期間の比較点と針先端の距離dのy成分d<sub>y</sub>の平均は1.45mmであり、針先端が-1.5[mm] ≤ d<sub>y</sub> ≤ 1.5[mm]に位置していた時間の割合は62.59%である。

同図(b)より、針先端は血管内壁の下端付近にとどまったのち、血管よりも下の位置に外れていることが分かる。固定期間の針先端のy座標の最大値は-4.92mm、最小値は-8.60mm、差は3.68mm、平均は-6.69mm、標準偏差は1.01mmである。また、固定期間のd<sub>y</sub>の平均は-2.69mmであり、針先端が-1.5[mm] ≤ d<sub>y</sub> ≤ 1.5[mm]に位置していた時間の割合は18.48%である。

同図(c)より、針先端は血管に刺さったのち、血管内にとどまっていることが分かる。固定期間の針先端のy座標の最大値は-3.68mm、最小値は-5.57mm、差は1.89mm、平均は-4.64mm、標準偏差は0.43mmである。また、固定期間のd<sub>y</sub>の平均は-0.64mmであり、針先端が-1.5[mm] ≤ d<sub>y</sub> ≤ 1.5[mm]に位置していた時間の割合は98.81%である。

同図(d)より、針先端は上下に大きくぶれたのち、血管よりも下の位置に外れていることが分かる。固定期間の針先

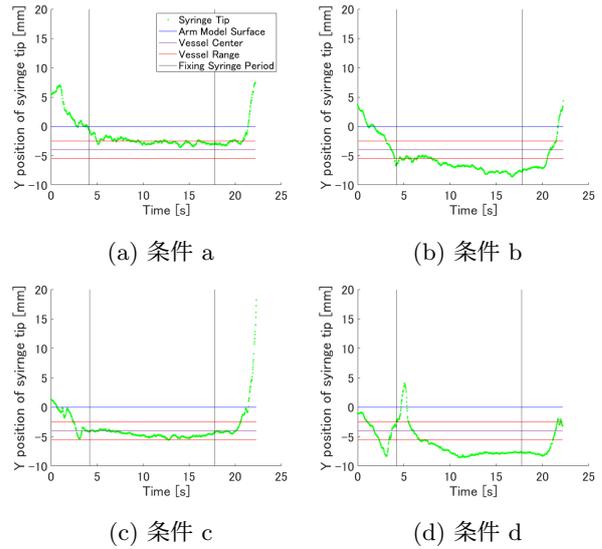


図6: 各実験条件における被験者Aの注射針先端のy座標の経時変化の例

端のy座標の最大値は4.03mm、最小値は-8.55mm、差は12.58mm、平均は-6.43mm、標準偏差は2.63mmである。また、固定期間のd<sub>y</sub>の平均は-2.43mmであり、針先端が-1.5[mm] ≤ d<sub>y</sub> ≤ 1.5[mm]に位置していた時間の割合は19.08%である。

3.2.2 各実験条件における採血動作中の針先端位置の比較

図7に被験者Aの固定期間における比較点と針先端の距離dのx成分d<sub>x</sub>およびy成分d<sub>y</sub>の絶対値の平均(5試行分)を示す。同図(a)に|d<sub>x</sub>|の平均、同図(b)に|d<sub>y</sub>|の平均を示す。同図(a)の横軸は各実験条件、縦軸は|d<sub>x</sub>|の平均を示す。同図の丸い点は外れ値を表す。同図より、条件aは条件dと比較して|d<sub>x</sub>|の平均が大きいことが分かる。また、条件bは条件dと比較してばらつきが大きいものの、|d<sub>x</sub>|の平均に大きな差はないことが分かる。さらに、条件cは条件dと比較して、|d<sub>x</sub>|の平均が小さいことが分かる。同図(b)の横軸は各実験条件、縦軸は|d<sub>y</sub>|の平均を示す。同図の丸い点は外れ値を表す。同図より、条件a, b, cは条件dと比較して|d<sub>y</sub>|の平均が小さいものの、大きな差はないことが分かる。

図8に被験者Aの固定期間におけるdの平均(5試行分)を示す。横軸は各実験条件、縦軸はdの平均を示す。同図の丸い点は外れ値を表す。同図より、条件cは条件dと比較してdの平均が小さいことが分かる。また、条件aは条件dよりもdの平均が大きく、条件bと条件dはdの平均に大きな差は見られないことが分かる。

図9に被験者Aの固定期間に針先端が血管内に位置していた割合(5試行分)を示す。横軸は各実験条件、縦軸は血管内に位置していた割合を示す。同図の丸い点は外れ値を表す。同図より、条件cのみが針先端を血管内に長期間とどめられていることが分かる。

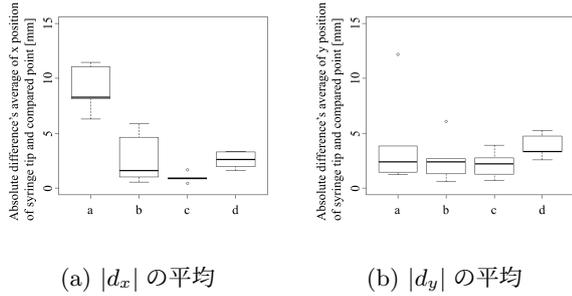


図 7: 固定期間における  $|d_x|$  と  $|d_y|$  の平均 (5 試行分)

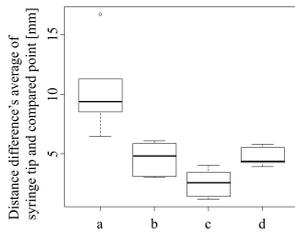


図 8: 固定期間における  $d$  の平均 (5 試行分)

3.3 考察

各表示方法の有効性について検討する。

図 7(a) および図 8 より、針先端を血管に近づける作業において条件 c が有効だと考える。また、図 9 より、針先端を血管内にとどめる作業においても条件 c が有効だと考える。

図 7(a) において、条件 a が条件 d と比較して  $|d_x|$  の平均が大きい理由を考察する。前述の通り、本シミュレータでは Transmitter オブジェクトを原点とする座標系と実空間の Transmitter を原点とする座標系との間にずれが生じる場合がある。本実験においてもずれが生じ、想定より矢印が横にずれて提示されたことで、条件 a の  $|d_x|$  の平均が増大したと考える。図 8 において、条件 a が条件 d と比較して  $d$  の平均が大きい理由を考察する。図 7 より、条件 a と条件 d では  $|d_y|$  の平均に大きな差はないが、 $|d_x|$  の平均には大きな差がある。このことから、矢印が想定より横にずれて提示されたことで、条件 a の  $d$  の平均が増大したと考える。また、条件 b, c の  $|d_x|$  および  $d$  の平均が条件 a と比較して小さい理由は、条件 a は比較点の位置を直接血管の上に表示しているため、座標系のずれの影響が大きく、条件 b, c は比較点の位置を血管から離れた位置に表示しており、座標系のずれの影響を受けにくいと考えられる。

条件 c において針先端が血管内に長期間とどまっている理由を考察する。図 5 に示したように、条件 c では矢印で針先端を動かす方向を示すため、条件 b と比較して針先端に対する比較点の方向を直感的に理解できると考える。また、条件 a は針先端が血管に近づくほど矢印が細く短くなるため、 $d \leq 1.5$  [mm] を満たして矢印が消えた状態との識別が難しいと考える。それに対して条件 c は、矢印の大きさが変化しないため、 $|d_x| \leq 1.5$  [mm] および  $|d_y| \leq 1.5$  [mm] を

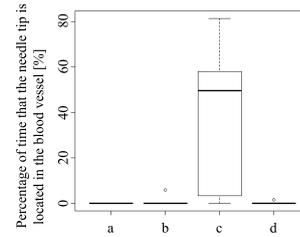


図 9: 固定期間に針先端が血管内に位置していた割合 (5 試行分)

満たしたときの見た目の変化が分かりやすいと考える。これらの理由から、条件 c が血管中に針先を定位しやすい条件であると考えた。

4. おわりに

本研究では、血管と注射針先端の位置のずれを提示する表示方法を複数提案し、MR 採血訓練シミュレータに実装した。被験者 8 名を対象にずれを提示する条件および提示しない条件での採血動作を計測し、被験者 1 名を対象として各表示方法の有効性を検討した。検討の結果、針先端を血管中心に近づけ血管内に定位する作業において条件 c が有効であると考えた。今後は本報告で考案した評価手法を用いて残り 7 名の計測データを解析することで、針先端位置を修正する際の各表示方法の有効性と妥当性を検討する予定である。

参考文献

- [1] 真島由紀恵：看護技術のスキル学習とノウハウ集約における映像活用, 映像情報メディア学会誌, Vol. 66, No. 8, pp. 645–649, 2012.
- [2] 厚生労働省医政局看護課：看護基礎教育の充実に関する検討会報告書, 2007.
- [3] 伊藤晶, 齋藤正親, 菊地由紀子, 工藤由紀子, 佐々木真紀子, 藤原克哉, 水戸部一孝：MR 技術を用いた採血訓練シミュレータ開発のための刺入角度のリアルタイムフィードバック機能の検討, 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1C2-7, 2021.