

採血支援システムの針制御機構に関する研究

Needle Position Control Mechanism for Blood Sampling Assistance System

○ 高木寛之, 香川亮太, 齊藤浩一 (東京高専専攻科) 細川聖 (東京高専)

野川雅道, 田中志信, 山越憲一 (金沢大学)

Hiroyuki TAKAGI, Ryota KAGAWA, Hirokazu SAITO, Advanced Course of Tokyo National College of Technology
 Sho HOSOKAWA, Department of Mechanical Engineering, Tokyo National College of Technology
 Masamichi NOGAWA, Shinobu TANAKA, Kenichi YAMAKOSHI, Kanazawa University

Abstract: In the clinical settings, blood sampling from vein is frequently performed for blood test, but mishaps of venipuncture are also frequently reported. Accurate vein detection and vein puncture are important for accident prevention. In this study, a prototype of automatic blood sampling system consisted of vein detector, needle position and attitude controller and needle puncturing device for safety blood sampling was developed. For improving safety of puncturing operation, driving mechanisms were designed using link mechanism and operating ranges were limited. Performance of the mechanism for needle position control were examined. The result showed the mechanism performed to specification. This system successfully performed needle puncture to phantom model used to clinical training.

Key Words: Blood Sampling Assistance, Vein Puncture, Link Mechanism, Position Accuracy

1. はじめに

臨床の現場において血液検査のために採血は頻回に行われているが、採血者には手指の感覚による非常に高度な技術が要求され、経験の浅い採血者にミスによる内出血等の事故が数多く報告されている¹⁾。この採血において穿刺位置となる皮下の静脈位置確認と、実際に針を穿刺して血管壁の貫通を検知して血管内で針先を止めることが特に熟練を要する難しい技術であるため、これらを支援するシステムがあればより安全な採血が実現可能となる。

本研究では、穿刺位置となる静脈の位置検出機能と、穿刺位置・姿勢制御機能、静脈への穿刺が可能な自動穿刺機能を有する採血支援ロボットの試作を行い、今回はその針の位置制御機構について性能の評価を行った。

2. 採血支援システムの概要

採血支援システムの構成を Fig.1 に示す。本システムは静脈検出部、穿刺位置・姿勢制御部、静脈穿刺部から構成され、システム本体には穿刺位置・姿勢制御及び穿刺を行う機構と静脈撮影用赤外線カメラ、静脈への穿刺検知用のセンサ類が搭載されている。各機構においてアクチュエータとしてサーボモータを採用し、内蔵のエンコーダからの位置情報を基にフィードバック制御を行う。これらにより静脈の検出から穿刺までの採血支援を行う。

システムは穿刺位置、方向、角度の制御、そして穿刺を行う4自由度の機構で Fig.2 にその外観を示す。穿刺を行う機構には穿刺反力測定用ロードセルと血液流入検知用電極(採血針内部)が設け、これらにより採血針の静脈壁貫通を検知することが可能とした²⁾。

機構の可動範囲は安全性を考慮して機械的に制限し、穿刺位置は約±20mm、穿刺方向は約±40°、穿刺角度は水平を基準に-10~28°、穿刺機構は針の刺入点を基準に-14~25mmとした。

3. 針制御機構

3.1 穿刺位置・姿勢制御機構

穿刺位置・姿勢制御機構は各1自由度の穿刺位置調整機構、穿刺方向調整機構、穿刺角度調整機構で構成され、検

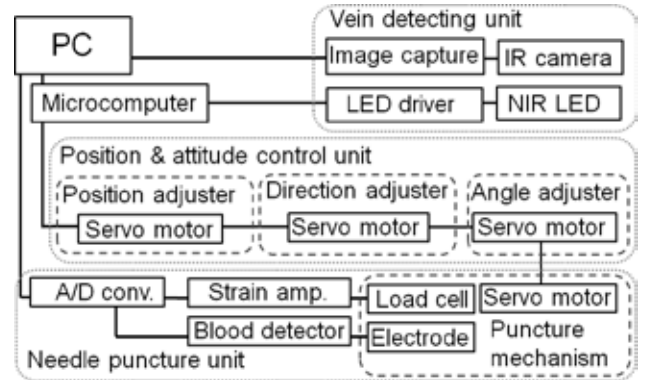


Fig. 1 Schematic diagram of blood sampling assistance system

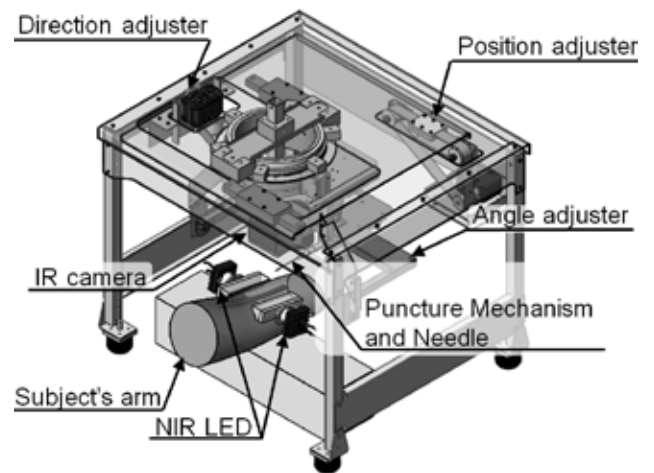


Fig.2 Appearance of puncturing device

出した静脈位置及び方向へ採血針を移動させる。穿刺位置調整機構と穿刺方向調整機構は位置精度が高くバックラッシュの少ない機構とするため、歯付ベルトと歯付プーリを利用した動力伝達機構とし、サーボモータは回転範囲が仕様により制限されているため機構の動作範囲はそれぞれ±20mm、±40.5°に制限した。穿刺角度調整機構は穿刺方向

調整機構の直下に設置し、Fig.3の模式図に示すような4節リンク機構とした。安全性を考慮してサーボモータが無限回転しても穿刺機構の角度が $-10\sim 28^\circ$ の範囲に制限されるようにリンクを設計した。

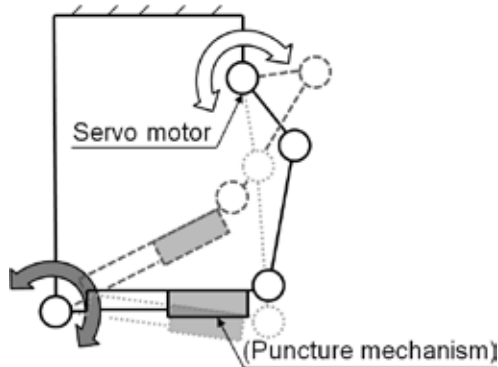


Fig.3 Link mechanism of angle adjuster

3.2 穿刺機構

穿刺機構は Fig.4 の模式図に示すような採血針を直動させるための1自由度のスライダリンク機構となっている。穿刺角度調整機構の下に吊り下げられる形で設置され、安全性を考慮して、サーボモータが無限回転しても動作範囲が $-14\sim 25\text{mm}$ の範囲になるようにリンクを設計した。

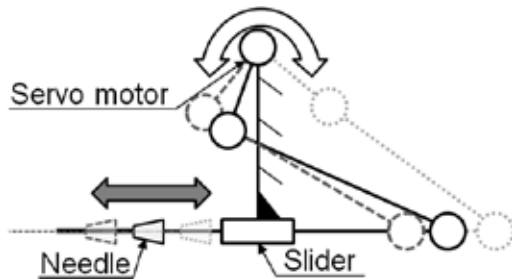


Fig.4 Link mechanism of needle puncturer

4. 針制御機構の評価実験

4.1 評価方法

まず、各機構について設計通りの動作が可能かどうか動作確認を行った。続いて穿刺機構の応答性の確認を行った。さらに臨床訓練で用いられているシリコンゴム製の腕モデルに対して穿刺を行い、静脈への穿刺を検知して自動で採血針を停止させることが可能かどうか確認した。また、リンク機構である穿刺角度調整機構と穿刺機構についてサーボモータ内蔵のエンコーダから運動学により求めた変位の理論値と、実測値を比較して各機構の動作精度を求めた。変位測定のために穿刺角度調整機構に関しては出力側の関節にポテンショメータを取り付け、穿刺機構に関しては採血針の取り付け位置にリニアエンコーダを取り付けてサーボモータ内蔵のエンコーダの変位とともに実際の変位を測定した。

4.2 実験結果及び考察

穿刺機構への速度命令値と穿刺速度の関係を Fig.5 に示す。サーボモータへは1024段階で速度命令を与えることができ、命令値に比例して穿刺速度は増加するが、命令値が550以上になると穿刺速度は 50mm/s でほぼ一定となった。これはこのときにサーボモータに加えた電圧における最大値と考えられるが、実際の採血における穿刺速度は 10mm/s 程度とされているので速度は十分といえる。

腕モデルに対する穿刺実験の結果の例を Fig.6 に示す。10例すべてで同様の波形が得られ、穿刺反力のピークと採血針内の電極により静脈への穿刺を検知し、機構を停止させることが可能であることを確認した。

リンク機構の精度に関しては、穿刺角度調整機構と穿刺機構ともに移動方向により異なる誤差特性を示した。原因としてはリンクの節のバックラッシュに起因する機構のガタが考えられ、特に角度調整機構についてはフレームが華奢であったため剛性が低く、これが誤差を大きくしたと考えられる。対策としては機構への予圧や、剛性を向上させる等の方法が考えられる。

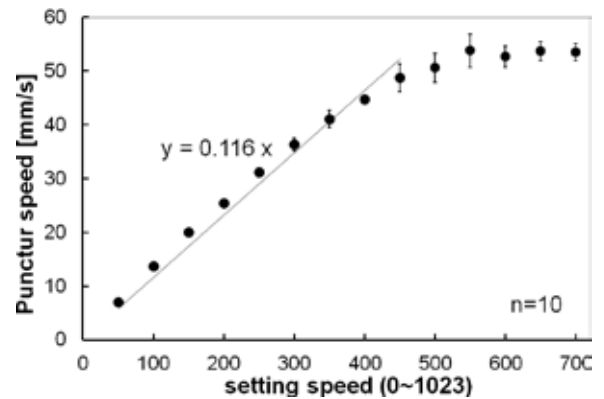


Fig.5 Relationship between setting value and puncture speed

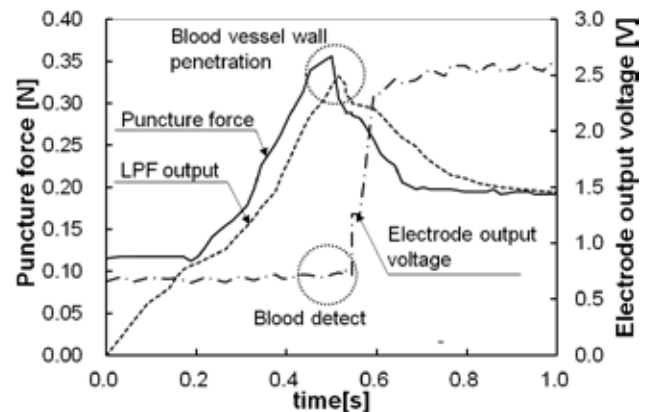


Fig.6 An example of puncture force and electrode output

5. まとめ

本研究では採血支援システムを試作し、その針制御機構の動作性能の評価を行った。穿刺速度に関しては実用上十分な速度が得られ、腕モデルに対して自動で穿刺が可能であることを確認した。また、機構のガタによる誤差が確認され、予圧を与える等の対策が必要と考えられた。

謝辞

本研究の一部は財団法人 新生資源協会研究助成、及び科学研究費補助金 基盤研究(B)22360110による。

参考文献

- (1) 血液事業報告 平成23年度版, 厚生労働省 pp.17, 2012
- (2) H.Saito, K.Mitsubayasi, T.Togawa, Detection of needle puncture to blood vessel by using electric conductivity of blood for automatic blood sampling, Sensors and Actuators A, 125, pp.446-450, 2006