



SkillPicker: 挟力情報を共有する技術伝達のための ピンセット型デバイス

松平親慶¹⁾, 大伏仙泰¹⁾, 大城翔平²⁾, 今井雄星³⁾, 貴嶋紗久⁴⁾, 金澤建彦⁵⁾, 塚谷裕一⁶⁾, 中島敬二²⁾, 稲見昌彦¹⁾

Chikayoshi MATSUDAIRA, Noriyasu OBUSHI, Shohei OSHIRO, Yusei IMAI, Saku KIJIMA, Takehiko

KANAZAWA, Hirokazu TSUKAYA, Keiji NAKAJIMA, and Masahiko INAMI

1) 東京大学 先端科学技術研究センター (〒 153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1, matsudaira@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

2) 奈良先端科学技術大学院大学 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5)

3) 東京理科大学 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

4) 産業技術総合研究所 (〒 100-8921 東京都千代田区霞が関 1-3-1)

5) 基礎生物学研究所 (〒 444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中 38)

6) 東京大学 理学系研究科 (〒 113-0033 文京区本郷 7-3-1)

概要: 生物学実験においてピンセットは不可欠なツールであり, 中でもピンセットの挟力操作は実験結果を左右する技能として知られる. 熟練者による挟力の教示が困難であるという課題に対し, 我々はピンセット先端部の拡大像提示と挟力計測機能を組み合わせたピンセット型の技能伝達用デバイス SkillPicker を提案する. 挟力の可視化や音階への変換を通じ, 初心者は熟練者の挟力操作を体感的に習得可能となることが期待される.

キーワード: 教育, 訓練, 人間拡張

1. はじめに

ピンセットは特に医療や生物学の研究において不可欠なツールであり, 微小な標本を対象とする精密な作業に用いられる. 熟練したユーザーは, 標本の形状の微細な変化を視覚や触覚で感知し, ピンセットにかける力を調整する. そのため, ピンセットの操作には, 視覚や触覚からの継続的なフィードバックに基づいて力加減を調整する高度な技術が必要となる [1][2]. しかし, これらの技術は単なる観察や言語での伝達が難しく, 初心者が習得するには多大な困難を伴う.

このような課題に対して, 技術伝達のための拡張ピンセットデバイスとして SkillPicker を提案する. このデバイスは, 先端の微細な視野を提供する小型カメラを搭載し, モニターに表示することで視覚情報を強化する. さらに, 操作中の指先の圧力をフォースセンスレジスタ (FSR) によって定量化し, そのデータをリアルタイムで記録する機能を持つ. 取得した圧力データを基に, ピンセット先端にかかる挟力を推定し, 視覚のおよび聴覚的フィードバックとして提示することができる. また, これらのデータを保存し, 他のユーザーと共有することができるアプリケーションも提供する.

ピンセット先端部の映像と挟力の記録・共有機能により, 熟練したユーザーの操作データを保存し, 初心者がそれを参考に訓練することで, 効果的な技術習得支援が可能となる. さらに, 圧力と挟力の対応によって, 初心者は熟練者の操作の模倣が可能となる. こうした特徴により, SkillPicker

は初心者がピンセット操作に必要な技術を習得する際に有用であり, 操作技術の向上に寄与すると考えられる.

2. 関連研究

ピンセットの機能を拡張する研究は, 目的に応じていくつかのアプローチによって進められてきた. 視覚的アプローチとしては, ピンセットで扱う微細な作業領域を見やすくするためにカメラを搭載したデバイスが提案されている [3]. このデバイスは, ピンセット操作中の微小な対象物や操作の視覚的フィードバックを得られる点において有用である. しかし, この方法は視覚情報の提供に限られ, 操作の定量的評価には直接結びつかない.

一方, ピンセットにかかる力を計測するアプローチとして, 先端にひずみゲージを取り付けることでピンセット操作を定量的に評価する研究がある [4]. この研究は, 従来の視覚的観察や実験結果のみに基づくピンセット操作技術の評価を定量化し, 客観的な計測を可能にした点で画期的である. ひずみゲージによる力の計測は, 操作中のピンセットにかかる力の変動や最大荷重を把握することができる. しかし, これらのデータは実際にピンセット先端部が標本にかける力との対応が不明であり, 操作においてどのような影響を与えるかについてはさらなる研究が必要である. さらに, ひずみゲージは指がピンセットにかける力を取得できず, 使用者が指先から得る微細な触覚的フィードバックを捉えるためには, 指先の圧力の定量化が重要と考えられる.

3. システム設計

提案する SkillPicker は、操作中の視覚・触覚情報を取得するセンサを搭載したピンセットと、取得した情報を可視化・可聴化して共有するソフトウェアから構成される。本システムは、ピンセット作業の初心者に対し作業の習得効率および精度の向上をもたらすことを目的としている。

ピンセットの支点付近に搭載された小型の拡大カメラは、先端の拡大された視覚情報をキャプチャし、モニターに表示する。この視覚情報は、ユーザが作業対象を正確に認識し、操作を行う上で重要な役割を果たす。また、ユーザの親指によってピンセットに加えられる圧力は、取り付けられたフォースセンズレジスタ (FSR) によって定量化される。圧力値はあらかじめピンセットがつかむ対象にかかる力と対応づけられており、ピンセットの挟力値はリアルタイムに推定される。

取得された挟力値は、ピンセット先端の映像上にリアルタイムでプロットされるか、音階に変換されることにより、視覚的および聴覚的フィードバックとして提示される。このフィードバックにより、ユーザは圧力の強弱を直感的に把握でき、より精密な操作が可能となる。

本項では、提案デバイスの設計に関して以下の3点について詳細に述べる：(1) 指先の圧力とピンセットの挟力の対応 (2) 視覚的フィードバック (3) 聴覚的フィードバック。これらの機能により、SkillPicker はユーザに対して操作の正確性と熟達したピンセット技術の模倣の効率性を提供することを目指している。

3.1 指先の圧力とピンセットの挟力の対応

本研究で構築するピンセットデバイスは、ピンセットが対象を挟む力、すなわち挟力を視覚・聴覚情報として提示する。ピンセットの先端は非常に微細であり、直接センサを搭載して挟力を計測することは難しい。そのため、本システムでは、あらかじめピンセットにかかる指先の圧力と挟力を対応づけることで、ピンセット操作時の挟力を推定する方法を採用した。

圧力センサを搭載したピンセットとデジタルフォースゲージを用いて、指先の圧力とピンセット先端の挟力を測定し、その対応関係を導出した (図 1)。対応付けは、挟力のデータを対数変換して線形近似することによって行った。決定係数 R^2 は 0.9693 であり、圧力と挟力の間に高い相関が見られた。したがって、挟力は圧力によっておおむね一意に定まるため、ユーザーは提示される圧力情報を用いて挟力を正確にコントロールできると言える。

3.2 視覚的フィードバック

小型カメラから得られた拡大映像上に圧力値の時系列データをプロットした。これにより、ユーザーはピンセット先端の詳細な映像とともに、リアルタイムで自らがピンセット先端にかけている挟力を視覚的に把握することができる。また、熟練者の操作データや作業に適切な力の閾値を画面上に表示することで、ユーザーは視覚情報を基に適切な操作を行うことが可能となる (図 2)。

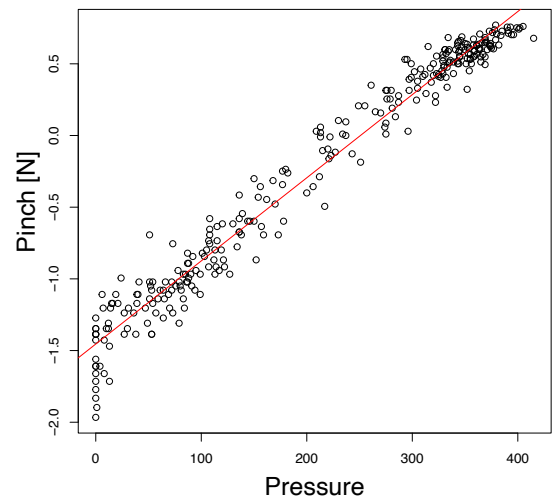


図 1: 指の圧力とピンセット先端の挟力の関係。縦軸は挟力 [N] の対数変換、横軸は圧力。

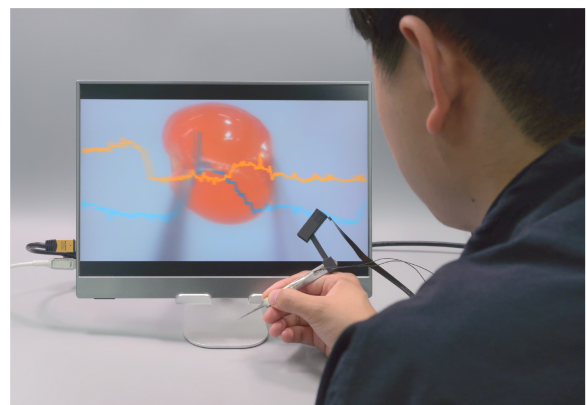


図 2: 挟力の視覚的フィードバックを用いて熟練者の操作を模倣する様子。

3.3 聴覚的フィードバック

ピンセットにかけられる指先の圧力値に基づいて周波数が定まるサイン波を生成し、スピーカーから出力することによってピンセット操作中の挟力を聴覚的に提示した。さらに、対象をつまむのに適切な挟力の範囲を定め、その範囲の両端に設定した閾値に達した際に通知音を鳴らすことで、ユーザーが自らの操作が適切であるかを把握できるようにした。

4. 実験

指先の圧力に対する視覚的・聴覚的フィードバックがピンセット操作に与える有効性を検証するため、ピンセット操作の初心者を対象に被験者実験を実施した。被験者は 23 歳から 58 歳 (中央値 24.5 歳) の 16 名 (男性 11 名、女性 5 名) であった。

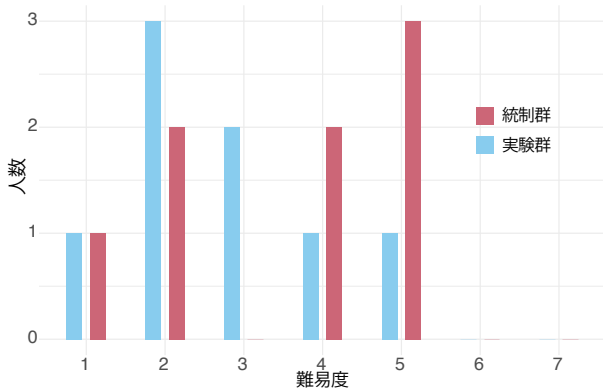


図 3: 主観評価の結果。縦軸は人数，横軸は参加者が感じたタスクの難易度。統制群は通常のピンセットによる訓練を行った群であり，実験群は SkillPicker を用いて視覚および聴覚フィードバックを受けながら訓練を行った群である。

4.1 実験系

ピンセットの支点に Raspberry Pi 5 Model B+ の CSI ポートに接続された 1/2.43 型のソニー製センサ (IMX708) を設置し，先端の映像をキャプチャボードを介してコンピュータに取り込み，液晶ディスプレイに表示した。カメラの解像度は 1920×1080 ，ビデオフレームレートは 50 Hz に設定した。また，ピンセットの持ち手には Interlink Electronics Inc. 製の圧力センサ FSR400 SHORT を搭載し，Arduino Uno Rev3 ATmega328 を通じて圧力値をコンピュータで取得し，Derivative 製の TouchDesigner を用いてグラフと音階に変換して液晶モニターとヘッドホンから提示した。

4.2 実験方法

実験参加者には，ゼニゴケを扱う植物学研究者にとって一般的な実験タスクであるゼニゴケの葉状体に対するカットアンドプレース作業を行わせた。この作業において実験参加者は培地上のゼニゴケの葉の端部をピンセット先端で切断し，培地上に置いた。

実験参加者を無作為に 2 群に分け，基準条件の群には，作業を行う熟練者のビデオを視聴させた。もう一方の群には同様のビデオに加えて，挟力情報を伴うピンセット先端の映像も視聴させた。その後，基準群は通常のピンセットを使用して訓練を行い，もう一方の群は SkillPicker を用いて視覚および聴覚フィードバックを受けながら指定された圧力を維持する訓練を行った。最終的に，両群は視覚および聴覚フィードバックを受けない状態で SkillPicker を使用して実験タスクを完了した。

5. 結果と考察

SkillPicker を用いて訓練を行った全ての被験者は，求められた挟力の印加および維持に成功した。これは，挟力の視覚および聴覚によるフィードバックが効率的なピンセット技術の習得を促進することを示唆する。

主観評価のためのアンケートでは，タスクの難易度を 1 から 7 の Likert スケールで評価した。SkillPicker を用いて

訓練を行った被験者群の大多数は，難易度を 3 以下と評価した (図 3)。これらの結果から，SkillPicker での訓練がピンセットの使用技術を伝達するための有効な方法であることが示される。

6. おわりに

本研究では，ピンセット操作技術の習得を支援するためのデバイスである SkillPicker を提案し，その有効性を検証した。SkillPicker は，操作中の視覚および聴覚フィードバックを提供することで，初心者がピンセットの使用技術を効果的に習得できることを目的としている。実験結果から，視覚および聴覚フィードバックが効率的なピンセット技術の習得を促進することが示唆された。さらに，主観評価においても，SkillPicker を使用した被験者の大多数がタスクの難易度を低く評価しており，デバイスの有効性が確認された。今後の課題として，異なる対象物や作業環境における SkillPicker の適用性をさらに検証する必要がある。また，熟練者の操作データを基にした高度なフィードバックシステムの開発も検討すべきである。これにより，より多くのユーザーがピンセット操作技術を迅速かつ効果的に習得できるようになることが期待される。本研究の成果は，医療や生物学の研究における精密な作業を伝達する新たなツールとしての可能性を示しており，今後の応用が期待される。

謝辞

本研究は東京大学倫理審査専門委員会の承認 (承認番号 23-103) を受けて実施された。本研究は JSPS 科研費 JP19H05670, JP19H05671 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Lei Wei, Zoran Najdovski, Wael Abdelrahman, Saeid Nahavandi, and Harrison Weisinger. Augmented optometry training simulator with multi-point haptics. In *2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 2991–2997, 2012.
- [2] Lei Wei, Saeid Nahavandi, and Harrison Weisinger. Optometry training simulation with augmented reality and haptics. In *2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2013)*, pp. 976–977, 2013.
- [3] Pinchas Shalev. System and method to apply a camera on a tool, February 2020. Patent No. 2020039441A1, Filed August 21st, 2019, Issued February 27th, 2020.
- [4] Kanako Harada, Akio Morita, Yoshiaki E., Young Baek, Shigeo Sora, Naohiko Eng, Toshikazu Kimura, Rokuya Tanikawa, Tatsuya Ishikawa, and Mamoru Eng. Assessing microneurosurgical skill with medico-engineering technology. *World Neurosurgery*, Vol. 84, No. 4, pp. 964–971, May 2015.