2025 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	**3D プリンターを活用した医療用固定具作成の実技授業への導入** **－柔道整復教育における模擬授業による検証－**
キーワード	①柔道整復技術、②教育工学、③デジタルアーカイブ

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏　名	ユアサ　ユキコ 湯浅　有希子
配付時の所属先・職位等 （令和 7 年 4 月 1 日現在）	帝京平成大学　ヒューマンケア学部　柔道整復学科　講師
現在の所属先・職位等	帝京平成大学　ヒューマンケア学部　柔道整復学科　講師
プロフィール	2001 年、柔道整復師取得。2014 年、早稲田大学大学院スポーツ科学研究科スポーツ文化研究領域博士課程修了。博士（スポーツ科学）。2016 年帝京平成大学ヒューマンケア学部柔道整復学科助教。2021 年、同学科講師。現在に至る。 現在、柔道整復の歴史研究（明治～占領期）を行う。本研究を機に、柔道整復の史・資料、保存・伝承のあり方研究を開始した。

1. 研究の概要

柔道整復師の実践技術は、長らく熟達者から学習者へ直接的に伝承されてきた。しかし近年、骨折・脱臼の臨床経験を豊富に持つ熟達者が高齢化により急速に減少し、固定具作成技術の継承が困難になりつつある。固定具作成技術は、熟達者の経験に基づく成形手順や適合の判断が重要であるが、技術継承のためには技術の標準化と保存が必要である。

本研究では、熟達者が作成した固定具をデジタルファブリケーション（DF）技術により保存・再現し、学習者への技術移転を可能にする教育手法の開発を目的とした。具体的には、臨床経験 25 年以上の柔道整復師 5 名が作成した手指末節骨捻挫用固定具を対象に、成形手順を調査し、その形状を 3D スキャンによりデータ化した。得られた形状テンプレートを基に、3D プリンター用熱可塑性フィラメントを用いて固定具モデルを作成し、模擬授業において学習者 32 名に対し DF を活用した固定具作成を実施した。

本研究は、柔道整復教育において初めて DF を活用した技術伝承の可能性を検証するものであり、熟達者の技術の保存・再現および教育現場への導入に向けた基礎的知見を示す。

2. 研究の動機、目的

日本では、柔道整復師による骨折・脱臼の施術件数が年々減少している。こうした背景には、熟達者の高齢化による廃業、整形外科医の充足、臨床機会の減少があり、柔道整復師の伝統的な固定具作成技術は継承の危機に直面している。

柔道整復の教育現場においても、固定具作成は依然として手作業に依存しており、熟達者の暗黙知を体系的に保存・伝達する仕組みが不足している。大学教育におけるデジタル化が進む一方、柔道整復分野ではデジタル技術を活用した教育手法が十分に導入されていない。

こうした状況を踏まえ、本研究では以下の 3 点を目的とした。

第一に、熟達者の固定具作成技術の手順や視点を明らかにし、DF により保存することであ

る。第二に、熟達者の固定具作成技術を 3D スキャンデータと熱可塑性素材を用いて再現し、標準化された形状テンプレートとして提示することである。第三に、DF を活用した技術移転が実技授業で導入可能かを検証し、教育現場における新たな技術伝承手法としての有効性を明らかにすることとした。

3. 研究の結果

(1) 熟達者の固定具作成技術の分析

熟達者 5 名が作成した手指末節骨捻挫用固定具の分析から、固定具の作成手順には 2 つの特徴、また形状には共通した特徴が認められた。作成手順は、①キャスト材をあらかじめ対象指全体を覆うことができる大きさにカットする。②お湯でキャスト材を溶かし、対象指全体を覆う（3 名）、または対象指の背側をわずかに開けて覆う（2 名）。③キャストが硬化したら一度外し、対象指の背側が完全に開く位置にカットする。(この際、患部にあたらないように全体の角をとる)(図 1)。



図 1　熟達者の固定具作成

形状では、良肢位保持のための角度設定や、指背側の形状による固定力の調整が重視されていた。また、臨床経験に基づく微調整（フィッティング）が治癒経過に影響するとの証言が得られ、熟達者の技術には暗黙知として蓄積された判断基準が存在することが明らかとなった。これらの知見を基に、固定具の形状テンプレートを作成し、DF による再現に活用した。

(2) DF による固定具テンプレートの再現

3D スキャンデータを基に、SMP 素材を用いて固定具テンプレートを作成した。装具の患部への負荷、患肢への適合性、作製物のデータ再現状態を加味しながら最終的な形状と素材を決定した。模擬授業に参加する学生の指は各自の大きさが異なるため、事前準備として、申請者が参加学生の指の採寸データを取り、(1)で得られた熟達者の作製物の 3D データの縮尺を変更した大・小 2 パターンのデータを 3D プリントして固定具テンプレートとした（図 2)。スプリント固定具を作製する臨床場面では、最終的に患者個々人に適合させるための調整（フィッティング）が必須となる。そこで固定具素材は、55 ℃以上の熱で軟化する形状記憶性ポリマー（SMP）である熱可塑性フィラメントを使用し、再加熱することで患肢に適合させることとした（図 3)。

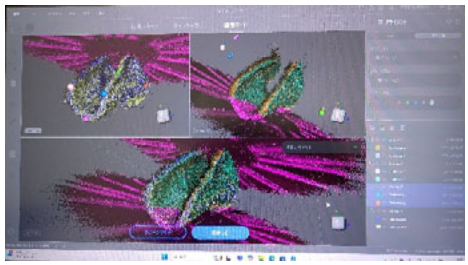


図 2　固定具テンプレート設計

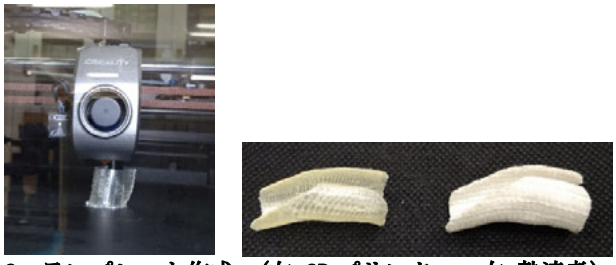


図 3　テンプレート作成、(左:3D プリンター、右:熟達者)

(3) 模擬授業による技術移転の検証

柔道整復学科学生 32 名を対象に模擬授業を実施した（図 4)。模擬授業では、DF を活用した固定具テンプレートが学習者の技術理解を促進することが示唆された。

術者役の学習者の多くが、フィッティングのポイントを理解し、適切に適合できたと回答した。また、3D プリンターの活用により、熟達者が不在であっても一定水準の固定具を作成できると 90.6%（29 名）が回答し、自己効力感が高まったことを示した（表 1)。患者役として評価した学習者からは、手順の円滑性や患部への適合性、固定強度について肯定的な評価が得られた。一方で、長時間装着時の快適性については、肯定的な回答は 56.3%（18 名）にとどまり改善の余地があることが示された（表 2)。

自由記述では、テンプレートの存在により作業時間が短縮され、熟達者と同等の完成度が得られる点が利点として挙げられた。一方、通気性やエッジ処理などの課題も指摘された。

これらの結果から、DF を活用した固定具テンプレートは、熟達者の技術の保存と再現に加え、学習者の技術習得を支援する教育手法として有効であることが示された。




図 4　模擬授業の様子（右:学生のフィッティング）

表 1 模擬授業後のアンケート結果（学習者・術者役）

	設問	1	2	3	4	5	平均値	肯定率(%)
①	固定具のフィッティングのポイントは理解できたと思いますか.	0	0	4	9	19	4.47	87.5
②	固定具を手指の形状に合わせて適切にフィッティングができたと思いますか.	0	2	1	10	19	4.44	90.6
③	固定具の動きやズレを最小限に抑える効果が発揮できたと思いますか.	0	1	4	10	17	4.34	84.4
④	3Dプリンターによって得られた情報を，今後臨床に活用したいと思いますか.	0	1	6	12	13	4.16	78.1
⑤	3Dプリンターの使用は，新しい固定具作製の意欲の向上に役に立ったと思いますか.	0	0	4	8	20	4.50	87.5
⑥	3Dプリンターがあれば，熟達者がいなくても自分で固定具を作製できると思いますか.	0	0	3	9	20	4.53	90.6

注： 各設問に対する数値は人数を示す（$n = 32$）．各項目は5段階リッカート尺度（1：全く思わない，5：とてもそう思う）にて評価した．肯定率は，4点および5点の回答者の割合とした．

表 2 模擬授業後のアンケート結果（学習者・患者役）

	設問	1	2	3	4	5	平均値	肯定率(%)
①	フィッティングされる際，患部への負担（動揺や熱感など）はなかったと思いますか.	2	2	2	13	13	4.03	81.3
②	フィッティングされる際，術者の手順はスムーズであったと思いますか.	0	1	4	7	20	4.44	84.4
③	固定具は患部の形状に適合していたと思いますか.	0	3	4	7	18	4.25	78.1
④	適切な強度で固定されていると思いますか.	0	1	4	9	18	4.38	84.4
⑤	固定による不快感は無く，1日中，装着していることができると思いますか.	0	3	11	10	8	3.72	56.3
⑥	3Dプリンターがあれば，術者の経験年数は気にならないと思いますか.	1	0	11	11	9	3.84	62.5

注： 各設問に対する数値は人数を示す（$n = 32$）．各項目は5段階リッカート尺度（1：全く思わない，5：とてもそう思う）にて評価した．肯定率は，4点および5点の回答者の割合とした．

(4) 考察

熟達者の技術をデータ化・共有することで、短時間の教育でも高い理解と再現性が得られ、技術移転の有効性が示唆された。3D プリンターは迅速な造形と微調整を可能にし、臨床現場を支援し得る。一方、学習者の技術過信に留意し、デジタル技術を足掛かりとしつつ、熟達者が臨床的判断の重要性を説く補完的指導が重要となる。

4. 研究者としてのこれからの展望

本研究では、熟達者の固定具作成技術をデジタルデータとして保存し、教育現場で再現可能な形にするための基礎的な枠組みを提示することができた。今後は、模擬授業で明らかになった装着感や素材特性に関する課題について、素材の改良や後加工の工夫を取り入れ、臨床現場での実用性を高めるための検討を継続していきたい。さらに、今後は多施設での共同研究を通じて、より大規模な教育効果の検証を行い、柔道整復師養成校における標準的な教育手法とし

ての確立を目指したい。熟達者の減少が進む中で、技術の保存と伝承をどのように実現していくかは、研究者自身の課題である。

加えて、デジタルデータを活用した技術保存は、教育的価値にとどまらず、将来的には柔道整復の歴史研究における新たな史・資料としての役割を果たす可能性がある。これまで柔道整復技術の記録は文字や写真が中心であったが、立体的な技術データを蓄積することは、後世の研究者が当時の技術水準や作業工程を検証する上で大きな意義を持つと考えている。こうした観点からも、柔道整復技術の保存のあり方について継続的に研究を進め、デジタル技術と手技教育を融合させた新たな教育モデルと技術アーカイブの構築に取り組んでいきたい。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

この度は、本研究への温かいご支援を賜り、心より御礼申し上げます。本奨励金により、熟達者の固定具作成技術をデジタルデータとして保存し、教育現場で活用するための試作や模擬授業を実施することができました。特に、3D プリンターやフィラメントなどの設備・材料の整備は、研究を進める上で不可欠であり、皆様からのご支援があって初めて実現できたものです。

柔道整復師の技術は、人の手によって受け継がれてきた貴重な知の体系です。本研究を通じて、その技術を次世代へ確実に伝えるための新たな方法を模索する機会を得ることができました。また、デジタル技術を活用した技術保存は、教育的価値に加えて、将来的には柔道整復の歴史研究における新たな史・資料としての役割を果たす可能性もあり、研究者として大きな励みとなりました。

今後も、柔道整復分野の発展と地域医療への貢献を目指し、研究と教育の両面から取り組みを続けてまいります。改めて、本研究にご支援いただきました寄付者の皆様、日本私立学校振興・共済事業団の皆様に深く感謝申し上げます。