

表 題 外科医の剪刀に対する主観的評価と剪刀の客観的評価との相関性に関する考察

論 文 の 区 分 論文博士

著 者 名 太田 学

所 属 外科学講座 消化器一般移植外科学

2024年 8月 15日申請の学位論文

紹 介 教 員 外科学講座 消化器一般移植外科
職名・氏名 教授 佐田 尚宏

目次

1. はじめに	2
2. 研究Ⅰ：剪刀使用中の快適性に影響を与える因子	5
2-1. 目的	
2-2. 方法	
2-3. 結果	
2-4. 小括	
補：同一剪刀の物理的特性の違いに関する考察	19
補-1. 目的	
補-2. 方法	
補-3. 結果	
補-4. 考察	
3. 研究Ⅱ：外科医の主観的評価の妥当性とその応用	26
3-1. 目的	
3-2. 方法	
3-3. 結果	
3-4. 小括	
4. 考察	42
5. おわりに	48
6. 謝辞	49
7. 参考文献	50

第1章 はじめに

手術器具の品質の確保は手術の質に直接的に影響するため必要不可欠であるが、多くの外科医が手術中に切れ味の悪い外科剪刀（以下、剪刀）に遭遇している(1)。その際、外科医は何も切らずに剪刀を開閉すること（以下、空運転）で使いにくさを識別することがよくある。その外科医の習慣的行為が何を意味するのか、つまり剪刀の空運転で外科医は剪刀の何を感じ取りどのように判断しているのかについては経験の域を超えていない。また手術成績は外科医の技術に依存していることは示されており(2, 3)、手術器具も手術の結果に影響を与えることは容易に想像できる。昨今の低侵襲手術やロボット支援手術などの発展もあり、様々な手術器具が開発されているが、その使いやすさは、外科医の手術に対するストレスに大きく影響する。そのため器具の使用感を客観的に捉えることがより良い器具の開発、ひいては手術技術の発展、手術成績の向上につながる事が期待できる。

手術用の剪刀は古く 15 世紀には存在し、手術中や手術以外においても含めると、すべての手術器具の中で最も頻繁に使用されると言ってもよい(4, 5)。他にも数多くの革新的な器具が考案されてきたが、その多くはハンドルを力点、ヒンジ部分を支点、二枚の刃が重なる位置を作用点とする剪刀の基本的構造と同様の構造をしている。剪刀は、切ることの他にも、組織を剥離する、圧排し術野を作るなど、様々な用途で頻繁に使用される。技量の高い外科医は剪刀の扱いが巧みであり、その扱いを見れば外科医の腕がわかると言っても過言ではない。それほど、剪刀は手術の基本となる器具である。最も多く使用され、他の道具の基本となる構造を持った剪刀について明らかにすることは、他の様々な道具の開発の重要な基礎研究となりうる。またその使用について研究することは手術の巧さといった外科医の暗黙知を理解するためにも重要である。

剪刀は古くから存在しているが、実際の使用における必要性から経験的に現在の形状に改良されてきた(5)。現在、手術用剪刀として先端の曲形状のものが多く使われているが、形状解析の報告およびエビデンスはない。近年、バーチャルリアリティシステムや手術ロボット開発の必要性から、手術で使用する剪刀に関する研究が再燃している(6-10)。様々な客観的、主観的手法により、特に手術用剪刀の抵抗や触覚フィードバックについては研究されてきている(6, 11-13)。外科医への定量的な触覚フィードバックは、触覚フィードバックシステムの登場とロボットシステムの改良のきっかけとなり、ロボット手術やそれに関連するシミュレーションに革命をもたらした(14, 15)。また、人間工学的なアプローチによる剪刀の性能の改善についても考慮されている。実際に使用する外科医にとってその使用感が快適であることは、精神的負担を軽減し、手術効率と安全性を最大限に高めるために重要である(16-18)。しかし、剪刀の主要な使用者である外科医の主観的感觉については、客観的評価法も確立されておらず、十分な評価がなされていないままであった。これまでのところ、剪刀を使用する際の快適さと剪刀の物理的特性との関係についての研究は少ない。

剪刀を含めた鋼製小物は製造過程で生じる誤差により、使用感が微妙に異なることが報告されている(1)。一方、外科医の手の感覚は鋭敏であるとされる。本来、均一な品質であるとされる同一ロットの剪刀の製造過程で生じた誤差から生じたわずかな使用感の違いについて、外科医の独特の感覚、経験的に得られた感覚で客観的に評価できるかは明らかでない。また、剪刀の使用において悩ましい課題は、経時的な磨耗や破損のしやすさに関するものである。窒化処理は、風力発電産業や航空宇宙産業など様々な産業で部品の耐摩耗性、疲労耐久性、耐腐食性を高めるために従来から採用されているが(19, 20)、手術器具の製造ではほとんど利用されていない。剪刀に窒化処理を施行することで剪刀の硬度上昇による耐久性の向上が期待できるが、同時に摩擦抵抗を高める懸念がある(19)。

剪刀の窒化による摩擦抵抗の増加が外科医の使用感に与える影響は未知である。

そこで本研究では、剪刀の物理的特性と外科医が感じる使い心地の関係について客観的に評価することを目的とした。まず外科医が剪刀を使用する時に感じる快適性に影響を与える客観的要因を明らかにした。具体的には、剪刀そのものの特性を客観的に調査するため、同じメーカーの同じロットの剪刀について、その物理的特性と、空運転したときに術者が感じる快適性についての相関を調べた。さらに主観的評価である外科医の使用感について、個人間、術者間において再現性があるか、客観的評価を通じて妥当性があるかを明らかにし、剪刀の窒化処理前後の快適性の評価に応用した。これまでは直感とされて、曖昧で測定できないとされていた外科医の主観的評価について、剪刀を閉じる際の物理的特性と比較することで客観化し、さらにその再現性、客観性について統計学的に考察した。

第2章 研究Ⅰ：剪刀使用中の快適性に影響を与える因子

2-1. 目的

本研究の目的は、鋭敏な感覚を持つ外科医の手の感覚を、同一ロットの外科剪刀を用いて客観的に検証することである。剪刀で切断する際に手に伝わる感覚は、切断する対象物を剪断することによって生じる力と、剪刀の2枚の刃の間の摩擦によって生じる力という、2つの大きな要因の組み合わせである(6)。切る対象物の剪断による感覚は、対象物の性質によって異なる。対して重なり合う刃によって生じる力は、個々の剪刀自体の特性である。本試験では、剪刀そのものの特性を客観的に調査するため、同じメーカーの同じロットの剪刀について、その物理的特性と、空運転時に術者が感じる快適性について調べた。

2-2. 実験材料と方法

剪刀の使い心地と物理的特性を評価するために、官能試験と実測試験を行った。本研究は自治医科大学附属病院倫理審査委員会の承認を受け（承認番号：21-78）、研究開始前に各参加者から書面によるインフォームド・コンセントを得た。

剪刀

クーパー剪刀は、組織や糸の切離、剥離操作、組織を押さえて術野形成に使うなど、様々な用途で頻繁に使用される(21)。様々な用途でよく使われる剪刀であるため、本研究ではクーパー剪刀を使用した。剪刀はサンメディックス株式会社（東京、日本）から入手した。10本のクーパー剪刀（20cm、反型、両鈍、製品番号：09-046-00、ロット番号：TL、ステンレス鋼、ミズホ株式会社、東京、日本）を用意した。各剪刀には識別のために1～10の番号を付けた（図1）。



図1 クーパー剪刀

10本のクーパー剪刀（20cm、反型、両鈍、製品番号：09-046-00、ロット番号：TL、ステンレス鋼、ミズホ株式会社、東京、日本）。各剪刀には1～10の識別番号をつけた。

官能試験

自治医科大学およびその関連病院から、計 31 名（女性 2 名、男性 29 名）のボランティアで参加協力可能な外科医が試験に参加した。外科経験は様々で、外科経験年数の中央値は 20 年（3-38 年）であった。そのうち 26 名の外科医は日本外科学会、日本消化器外科学会または日本乳癌学会の専門医であり（胃食道外科医 6 名、肝胆膵外科医 12 名、大腸外科医 7 名、乳腺外科医 1 名）、その他の外科医は外科専門医プログラムの後期研修中であった。参加者には、すべての剪刀が同じメーカーの同じロット番号であることは知らされていなかった。参加者間で結果が共有されるのを避けるため、参加者全員が独立して、別々の時間に官能試験を行った。時間の制限は設けなかった。試験監督者は、実験のアシスタントとしてあくまで客観的に質問には答えたが、意図的な介入をしないようにした。

官能試験は、剪刀を空運転するときの外科医の感覚を評価するために行われた。手術中、外科医は使用前に剪刀を開閉し、使い心地を感覚的に試すことが多い。本研究の官能試験は、外科医が通常手術中に慣習的に行っている剪刀の使い心地を再現するようにした。剪刀の主観的な感覚は、各外科医の自己申告によって数値化された。痛みなどの感覚の定量化には Visual Analogue Scale (VAS)や Numerical Rating Scale (NRS)がよく用いられるが(10, 22)、これらの自己申告尺度は同一人物での比較は可能であるが、他者との比較には適さない。そのため、一般的には別の客観的指標と比較することでスコアを客観化する。本研究では、剪刀のわずかな違いを全ての剪刀について主観的評価で正確に比較することは困難であるため、合計 10 本の剪刀から快適と感じる剪刀を 3 本、不快と感じる剪刀を 3 本選ぶようにした。このようにして、それぞれの剪刀を 3 段階 (comfortable、neither、uncomfortable) に分けることで評価した。各評価者が評価した comfortable を 1 点、neither を 0 点、uncomfortable を -1 点として採点し、最終的に全評価者

が各剪刀につけた comfortable、neither、uncomfortable の点数を合計し総合点として集計し快適さの指標とした。快適さの主観的評価は、剪刀を閉じるのに必要な負荷の客観的数値（実測試験）と比較することで客観化した。

実測試験

剪刀の物理的特性を調べるため、Mahvash らや Pereira らが剪刀を垂直に固定して閉じる測定を行ったのに倣って、剪刀の開閉動作の実測試験を行った(7, 23)。この方法は、剪刀に他の方向の力が加わることはないため、剪刀の閉じる際に必要な圧だけが測定できる。実測試験はミズホ株式会社の五泉工場で行った。卓上試験機を使用し、剪刀の持ち手に荷重をかけ、剪刀を閉じたときの荷重圧力と各持ち手間の幅の変位を測定した。試験装置には卓上試験機 (FGS-TV、Nidec 日本電産シンポ株式会社、京都、日本) とデジタルフォースゲージ (20N) (FGP-2、日本電産シンポ株式会社、京都、日本) を用いた (図 2 A)。剪刀を開き、片方の持ち手が水平になるようにバイスで固定した。剪刀を閉じ始める位置 (初期開始位置) は、剪刀が自重で閉じ、持ち手が停止した位置と定義した (図 2 B)。剪刀の初期開始位置における持ち手の開き幅 (starting width) を測定した。水平に固定された持ち手の位置から上側の持ち手の位置までの垂直距離を「ハンドル幅 (handle width)」と定義した (図 2 B)。試験条件を設定し、卓上試験機を用いて荷重試験を行った。初期開始位置から剪刀が完全に閉じるまで荷重をかけた。持ち手の閉じる速度は 10mm/min であった。試験中の荷重値と持ち手の開き幅の変位を記録した。試験は各剪刀で 1 回のみ行った。

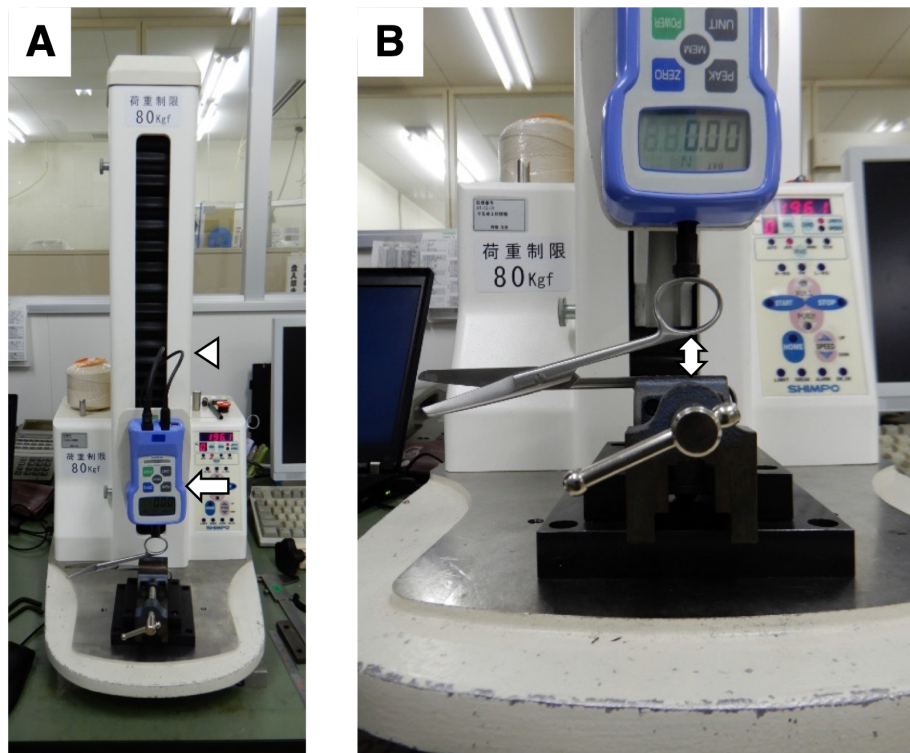


図2 実測試験

A：試験装置：卓上試験機（矢頭）、デジタルフォースゲージ（20N）（矢印）。

B：剪刀を開き、片方の持ち手が水平になるようにバイスで固定した。水平に固定された持ち手の位置から上側の持ち手の位置までの垂直距離を「ハンドル幅（handle width）」（双頭矢印）と定義した。

統計解析

官能試験の結果は、comfortableを1点、uncomfortableを-1点として採点し、最終的に各剪刀のcomfortable、uncomfortableの点数を合計し総合点として集計した。comfortableの点数を”comfortable score”、uncomfortableの点数を”uncomfortable score”、総合点を”Total score”とした。

実測試験では、剪刀を閉じるのに必要な荷重値(N)とハンドル幅の変位(mm)を記録した。測定したハンドル幅の変位は、閉じた位置を0mmとしてハンドル幅に換算した。これらから、各剪刀について、最大荷重値(maximum load value)、最小荷重値(minimum load value)、平均荷重値(mean load value)、最大荷重値から最小荷重値を引いた値(change in load value)、ハンドル幅6mm以下での荷重値の変化(change in load value at the tip)を求めた。

官能試験結果と実測試験結果との相関を算出した。データの統計解析は、ノンパラメトリック検定(Spearmanの順位相関係数)と重回帰分析によって行った。相関係数(r) > 0.2 を相関あり、 $r > 0.4$ を中程度の相関あり、 $r > 0.7$ を強い相関ありとし、 P 値 < 0.05 を有意とした。統計解析にはEZR (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Japan; <https://www.jichi.ac.jp/saitama-sct/SaitamaHP.files/manual.html>)を使用した(24)。

2-3. 結果

官能試験

図3は官能試験の結果であり、剪刀1と剪刀9はTotal scoreが高く、comfortableの得点が最も高く、uncomfortableの得点が最も低かった。剪刀3と剪刀6はTotal scoreが低く、comfortableが最も少なく、uncomfortableが最も多かった。

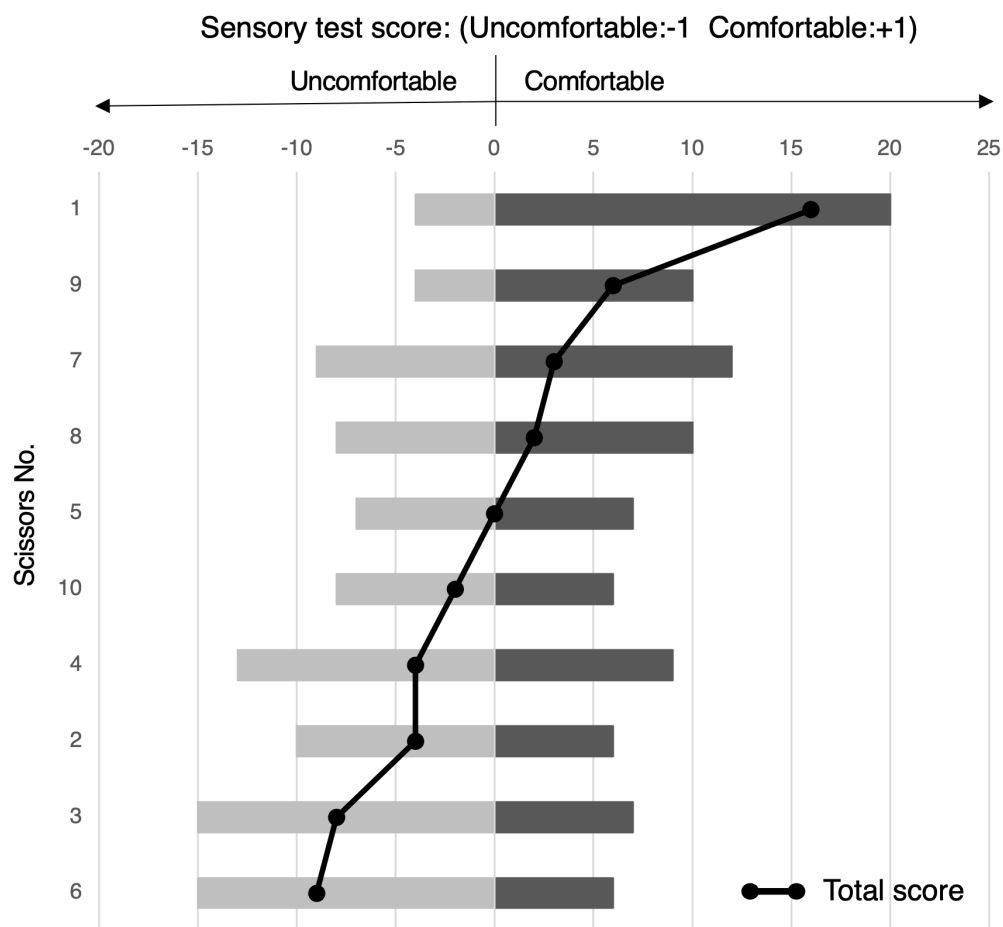


図3 官能試験の結果

官能試験の結果として各剪刀の comfortable と uncomfortable の得点数とその合計を示す。comfortable を濃いグレーの棒で、uncomfortable を薄いグレーの棒で、Total score を折れ線グラフで示している。

実測試験

図4に横軸をハンドル幅 (handle width) 縦軸を荷重値 (load value) として、剪刀を閉じる際の荷重値の変化を示す。荷重値の大きな群 (剪刀3、6、8) と、荷重値の小さな群 (剪刀1、2、4、5、7、9、10) に大別された。またハンドル幅が6mm以下において荷重値の変化が目立つ剪刀が存在した。

表1に実測試験の概要、開始幅 Starting width (mm)、最大荷重値 max load value (N)、最小荷重値 min load value (N)、平均荷重値 mean load value (N)、荷重値の変化 change in load value (N)、先端の荷重値の変化 change in load value at the tip (N ; ハンドル幅が6mm以下の鉗の範囲における最大荷重値と最小荷重値の差として定義) を示す。官能試験との関係を理解しやすくするため、図3と同じ順番で、官能試験の合計点が高い順に剪刀を並べた。

各パラメーターのスコアの中央値 (範囲) は、開始幅 18 (13~23) mm、最大荷重値 0.33 (0.17~1.28) N、最小荷重値 -0.08 (-0.11~0) N、平均荷重値 0.03 (0.01~0.61) N、荷重値の変化 0.40 (0.27~1.28) N、先端部の荷重値の変化 0.37 (0.18~0.70) N であった。

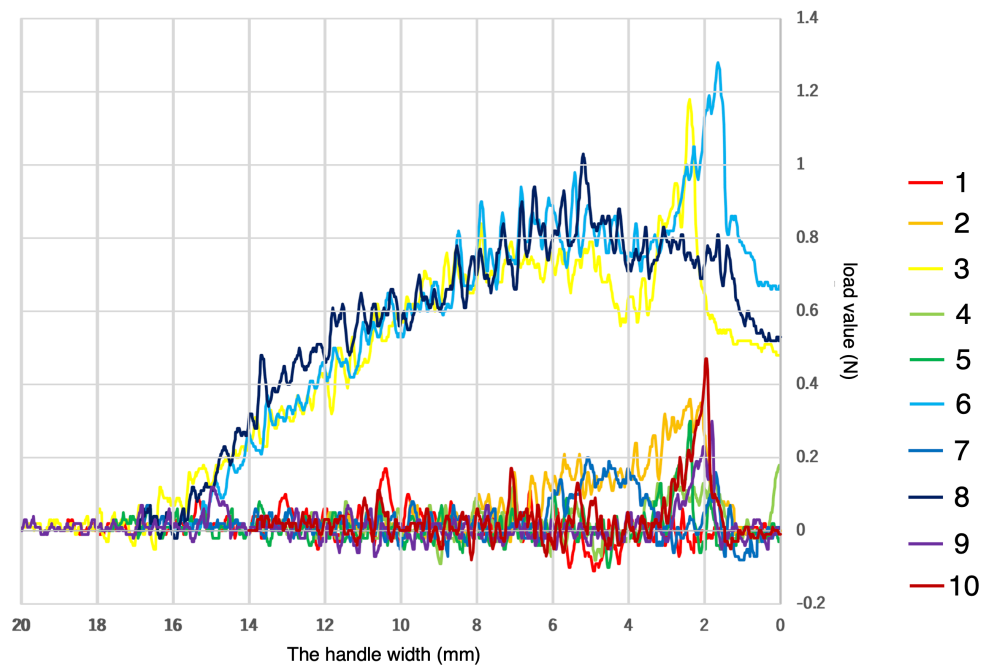


図4 剪刀を閉じる際の荷重値

横軸を handle width (mm) 縦軸を load value (N) として荷重値の変化を折れ線グラフに示した。handle width は剪刀が閉じ切ったところが 0 mm である。

表 1. Summary of load measurement test results

Scissors Number	Starting width (mm)	Maximum load value (N)	Minimum load value (N)	Mean load value (N)	Change in load value (N)	Change in load value at the tip (N)
1	20	0.17	-0.11	0.0084	0.28	0.18
9	23	0.30	-0.07	0.0118	0.37	0.35
7	18	0.20	-0.08	0.0291	0.28	0.28
8	18	1.03	-0.02	0.5637	1.05	0.31
5	19	0.30	-0.10	0.0119	0.40	0.40
10	15	0.47	-0.08	0.0308	0.55	0.53
4	15	0.18	-0.09	0.0228	0.27	0.26
2	13	0.36	-0.33	0.0853	0.39	0.38
3	21	1.18	-0.05	0.4316	1.23	0.70
6	17	1.28	0.00	0.6133	1.28	0.62

*官能試験の結果と比較しやすいように剪刀の順番は図 3 と同じように官能試験の total score の降順に並べている。

官能試験と実測試験の相関

官能試験の Total score と実測試験における平均荷重値との間に強い負の相関が認められた ($r=-0.717$ 、 $p=0.0195$; 図 5 A) 。官能試験の Total score と実測試験の先端の荷重値の変化との相関は、中程度の負の相関を示した ($r=-0.687$ 、 $p=0.0282$; 図 5 B) 。

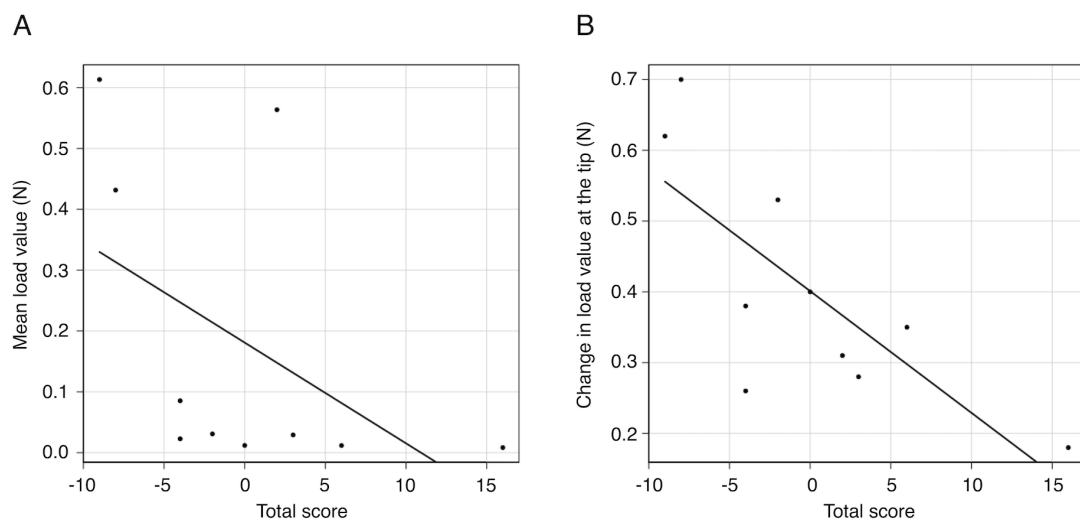


図 5 官能試験と実測試験の相関

A : 官能試験の Total score と実測試験における mean load value の相関 ($r=-0.717$ 、 $p=0.0195$)

B : 官能試験の Total score と実測試験の change in load value at the tip との相関 ($r=-0.687$ 、 $p=0.0282$)

相関のあった因子について重回帰分析を行った。表 2 に結果を示す。先端部の荷重の変化は、官能試験の総得点に影響を与える独立した因子であった ($p=0.046$)。

表 2. Results of Multiple Regression Analysis of the Total Score

Coefficients				
Independent variables	Estimate	Standard Error	t	p
Mean load value (N)	-2.929	8.550	-0.343	0.742
Change in load value at the tip (N)	-31.201	12.864	-2.425	0.046*

*: $p < 0.05$

2-4. 小括

外科医は、剪刀を閉じるのに必要な平均荷重値が小さく、先端部の荷重値の変化が小さいクーパー剪刀の方が快適であると評価していた。平均荷重値、特に先端部の荷重値の変化は、剪刀の設計・製造において品質基準として考慮されるべきである。これらのパラメータが好ましい値であれば、手術中の術者のストレスや身体的負担が軽減され、術中の術者の快適性が向上することが期待される。

本実験の内容は *Cureus* 誌に掲載された (Ota G, Kaneda Y, Maeda Y, Oiwa K, Ae R, Shiozawa M, Horie H, Sata N, Kawahira H. A Low Mean Closing Load and a Decrease in Load Change at the Tip Increase the Comfort of Scissors. *Cureus* 2024;16(1): e51900.)。

補) 同一剪刀の物理的特性の違いに関する考察

補-1. 目的

研究 I で使用した 10 本の剪刀は全て同じメーカーの同じロットであったにも関わらず、異なる快適性と異なる物理的特性があった。剪刀の製造過程で生じる製品の誤差については過去にも指摘されている(1)。先の実験では剪刀を閉じる際に感じる主観（快適性）に影響を与える因子を明らかにするために、他の条件がほぼ同じになるように同一メーカー同一ロットの剪刀を用いて、その誤差を利用して実験を計画した。しかし、同一の剪刀とされるものに違いが存在することは無視のできない事実である。研究 I の剪刀を閉じる際の荷重値の実験結果（図 4）においては、荷重の最大値が剪刀毎に異なっていた。このことから剪刀の寸法精度に問題があると仮定し、刃先の厚さを調べ、10 本の同一剪刀の違いがなぜ生じたのかを検討することを目的とした。

補-2. 方法

研究 I の実験結果から剪刀の寸法精度に問題があると仮定し、マイクロメーターを用いて刃先の厚さを計測した。弯曲により刃先の向かう方向に存在する刃を上刃、もう一方を下刃と定義し、図 6 に示すように上刃の内側の厚さを“上刃内側厚さ”、上刃の外側の厚さを“上刃外側厚さ”、同様に下刃についても“下刃内側厚さ”、“下刃外側厚さ”として、それぞれの位置で厚さ (mm) を計測した。

それぞれの位置における刃の厚さと、研究 I で得られた平均荷重値 (mean load value) と先端の荷重値の変化 (change in load value at the tip) について相関を調べた。データの統計解析は、ノンパラメトリック検定 (Spearman の順位相関係数) で行った。相関係数 (r) >0.2 を相関あり、 $r>0.4$ を中程度の相関あり、 $r>0.7$ を強い相関ありとし、 P 値 <0.05 を有意とした。統計解析には EZR (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Japan; <https://www.jichi.ac.jp/saitama-sct/SaitamaHP.files/manual.html>) を使用した (24)。



図 6 刃先の計測箇所

彎曲により刃先の向かう方向に存在する刃を上刃、もう一方を下刃と定義した。それぞれの刃のマイクロメーターでそれぞれの刃の外側と内側の厚さを計測した。

補-3. 結果

表3に刃先の厚さの計測結果、上刃外側厚さ (mm)、上刃内側厚さ (mm)、下刃外側厚さ (mm)、下刃内側厚さ (mm)を示す。研究Ⅰの結果との関係を理解しやすくするために表1と同じ順に剪刀を並べた。

各パラメーターのスコアの中央値は、上刃外側厚さ 1.33 (1.27~1.40) mm、上刃内側厚さ 0.795 (0.72~0.93) mm、下刃外側厚さ 1.185 (1.14~1.36) mm、下刃内側厚さ 0.73 (0.66~0.80) mmであった。

表3. 刃先の厚さの計測結果

Scissors Number	上刃外側厚さ (mm)	上刃内側厚さ (mm)	下刃外側厚さ (mm)	下刃内側厚さ (mm)
1	1.27	0.75	1.14	0.66
9	1.29	0.72	1.18	0.73
7	1.33	0.80	1.36	0.69
8	1.40	0.88	1.16	0.71
5	1.34	0.79	1.30	0.80
10	1.33	0.82	1.23	0.75
4	1.28	0.75	1.18	0.73
2	1.31	0.77	1.17	0.69
3	1.38	0.93	1.28	0.77
6	1.40	0.88	1.19	0.73

*研究Ⅰの結果と比較しやすいように剪刀の順番は表1と同じ順に並べている。

研究 I との相関

上刃の厚さは外側、内側のいずれにおいても、研究 I の平均荷重値 **mean load value** との間に、強い正の相関を認め ($r=0.811$ 、 $p=0.004$; 図 7 A、 $r=0.835$ 、 $p=0.003$; 図 7 B)、先端の荷重値の変化 **change in load value at the tip** との間には中程度の正の相関を認めた ($r=0.665$ 、 $p=0.036$; 図 7 C、 $r=0.652$ 、 $p=0.041$; 図 7 D)。

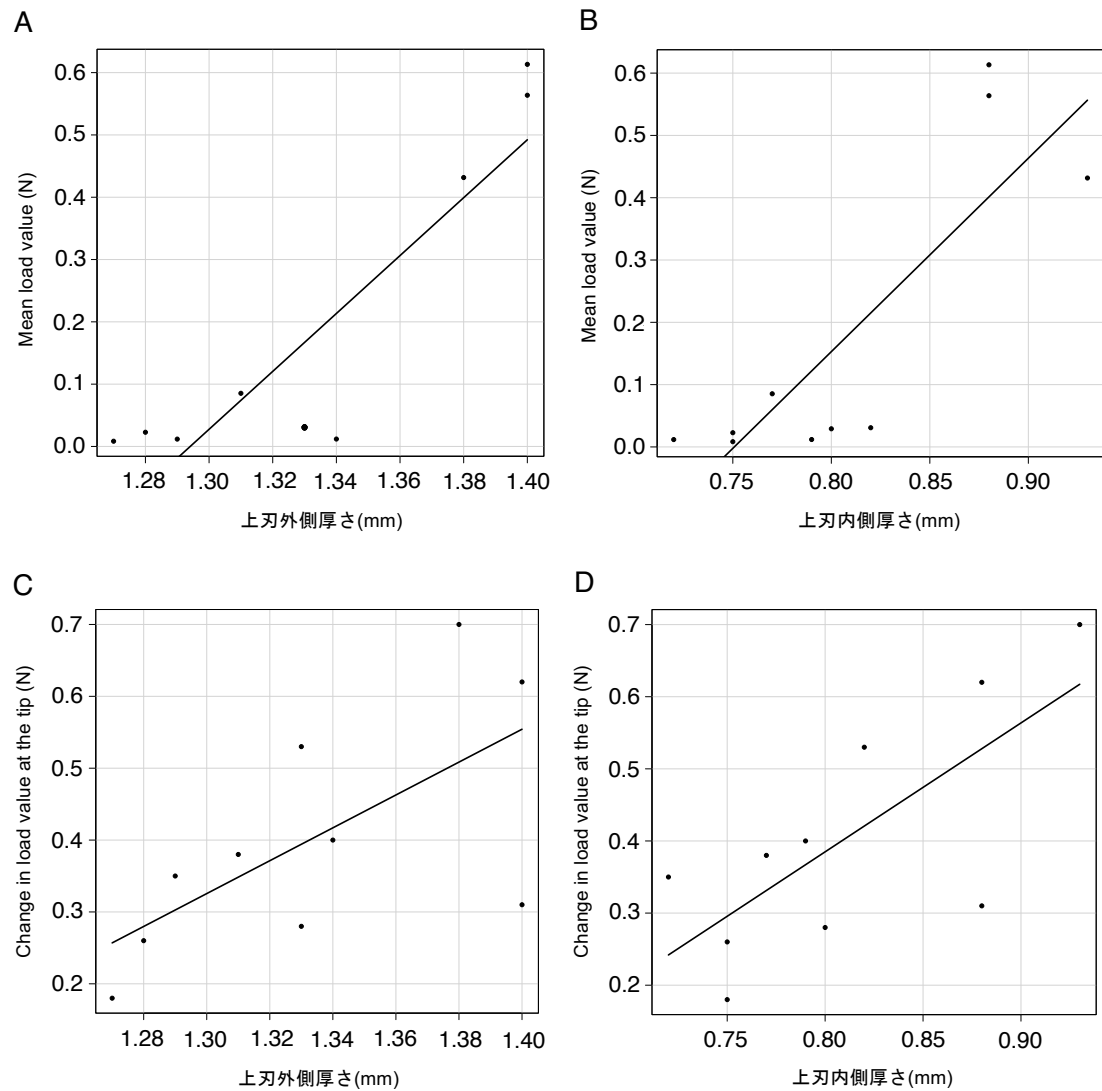


図7 刃の厚みと荷重値の相関

A : 上刃外側厚さと研究 I の平均荷重値 mean load value の相関 ($r=0.811$ 、 $p=0.004$)

B : 上刃内側厚さと研究 I の平均荷重値 mean load value の相関 ($r=0.835$ 、 $p=0.003$)

C: 上刃外側厚さと研究 I の先端の荷重値の変化 change in load value at the tip の相関 ($r=0.811$ 、 $p=0.004$)

D: 上刃内側厚さと研究 I の先端の荷重値の変化 change in load value at the tip の相関 ($r=0.811$ 、 $p=0.004$)

補-4. 考察

上刃の厚さに着目すると、平均荷重圧の高い剪刀3、剪刀6、剪刀8においては、他の剪刀と比較し高い数値であった。上刃の厚みが増すことで、下刃との交差時に抵抗が増す、もしくは刃を固定するネジの部位に影響を与える可能性が示唆された。

また研究Ⅰの官能試験で目立って快適と評価された剪刀1と剪刀9、そして快適さが低いと評価された剪刀3と剪刀6との間では快適とされる剪刀で上刃の厚さが低い数値を示した。そこで、先の実験で明らかとなった、剪刀の快適さの指標である平均荷重値、及び先端の荷重値の変化のそれぞれについて、刃の厚さとの相関を調べたところ、上刃においていずれとも正の相関を示した。本実験で用いた剪刀の製造過程で生じた寸法誤差が剪刀使用時の快適性に影響を与えていることが示唆された。

本実験は剪刀の上刃の厚さに平均荷重値、先端の荷重値の変化との相関が得られたが、単一の剪刀についてのみの検討であり、別の剪刀の誤差までもが上刃の寸法誤差により生じるとは考えにくい。製造過程で生じる様々な誤差が、快適性に影響を与えている可能性がある。実臨床で問題となるほどの誤差があるものの多くは各メーカーにおける検品過程でチェックされており実際の使用で問題となることは少ないが、製品の製造過程における誤差の存在は念頭におかなければならない。

以上から、同一ロットの剪刀に違いが生じるのは寸法誤差に原因があることが示唆された。剪刀の作成時にはできる限り均等な厚さで作ることで、製品毎の誤差を生じにくくし、快適さを一定にする可能性がある。

第3章 研究Ⅱ：外科医の主観的評価の妥当性とその応用

3-1. 目的

研究Ⅰで、剪刀の使用時の快適さを主観的に評価す際に、剪刀の物理的特性として剪刀を閉じる際の荷重の変化を感じ取っている可能性が示された。しかし研究Ⅰでは外科医の主観的評価の再現性については明らかとはなっておらず、その妥当性には疑問が残った。本研究は、個人間評価、術者間評価、および客観的評価を通じて、剪刀を空運転した際に必要な荷重（抵抗）に対する術者の主観的評価の妥当性を検証することを目的とした。さらに、剪刀の耐久性を高めるために、窒化処理を行う可能性を探り、この方法を用いて窒化処理前後の主観的抵抗値の変化を評価した。

3-2. 方法

本実験は図8に示すシェーマのように行った。5本の剪刀の主観的抵抗値測定、術者間の主観的抵抗値の統計分析を行った。5本の剪刀のうち、1本をコントロールとし、少なくとも2週間のウォッシュアウト期間後、主観的抵抗値を再度測定し再現性について評価した。5本のうち4本の剪刀に低温プラズマ窒化処理とマスキング、窒化処理後の主観的抵抗値と客観的抵抗値の測定を行った。

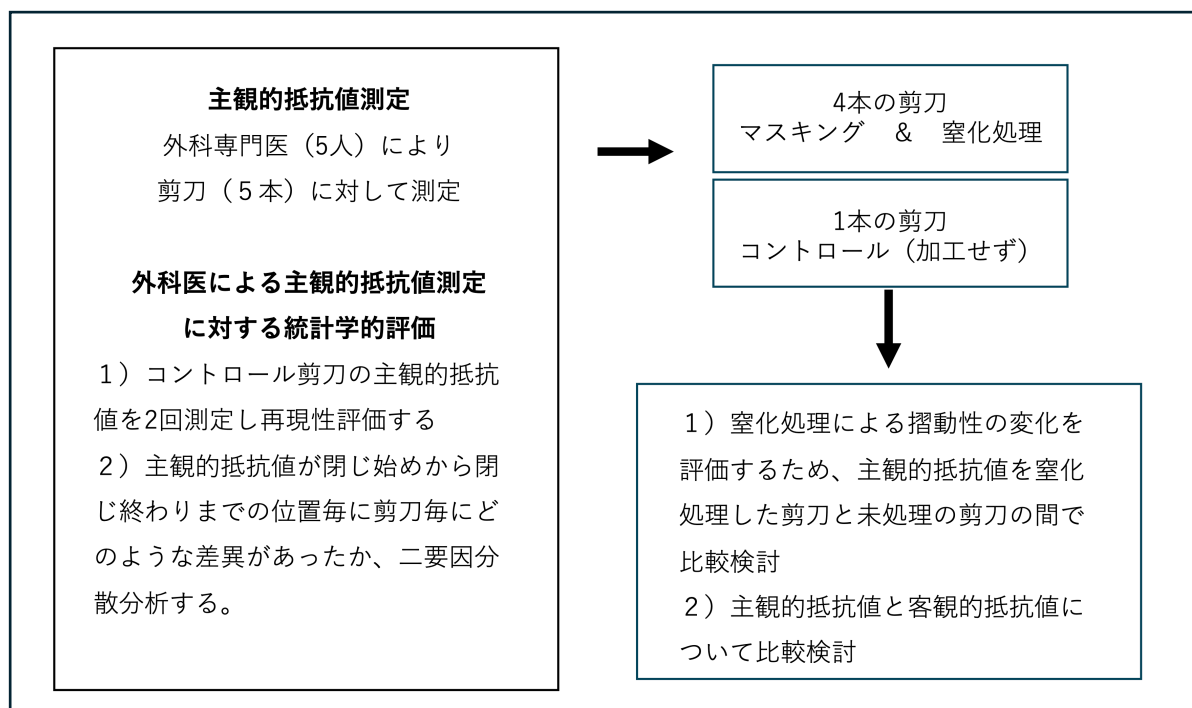


図8 本実験のシェーマ

5本の剪刀の主観的抵抗値測定

5人の外科専門医が、同じ5本の剪刀（145mm；荒川製作所、東京）を空運転した際の抵抗値を主観的に評価した。術者は、閉じる過程を通して硬さを評価し、主観的に“抵抗値記入用紙”にグラフとして記入した。横軸は位置スコア（position score）：0（刃が交差し始めた剪刀の最大開口時）から10（剪刀の完全閉鎖時）まで。縦軸は剪刀を閉じる際の抵抗値（resistance value）：10は極端な硬さ、これ以上硬いと剪刀を閉じることができないと外科医が判断する硬さのレベルと定義した（図9）。

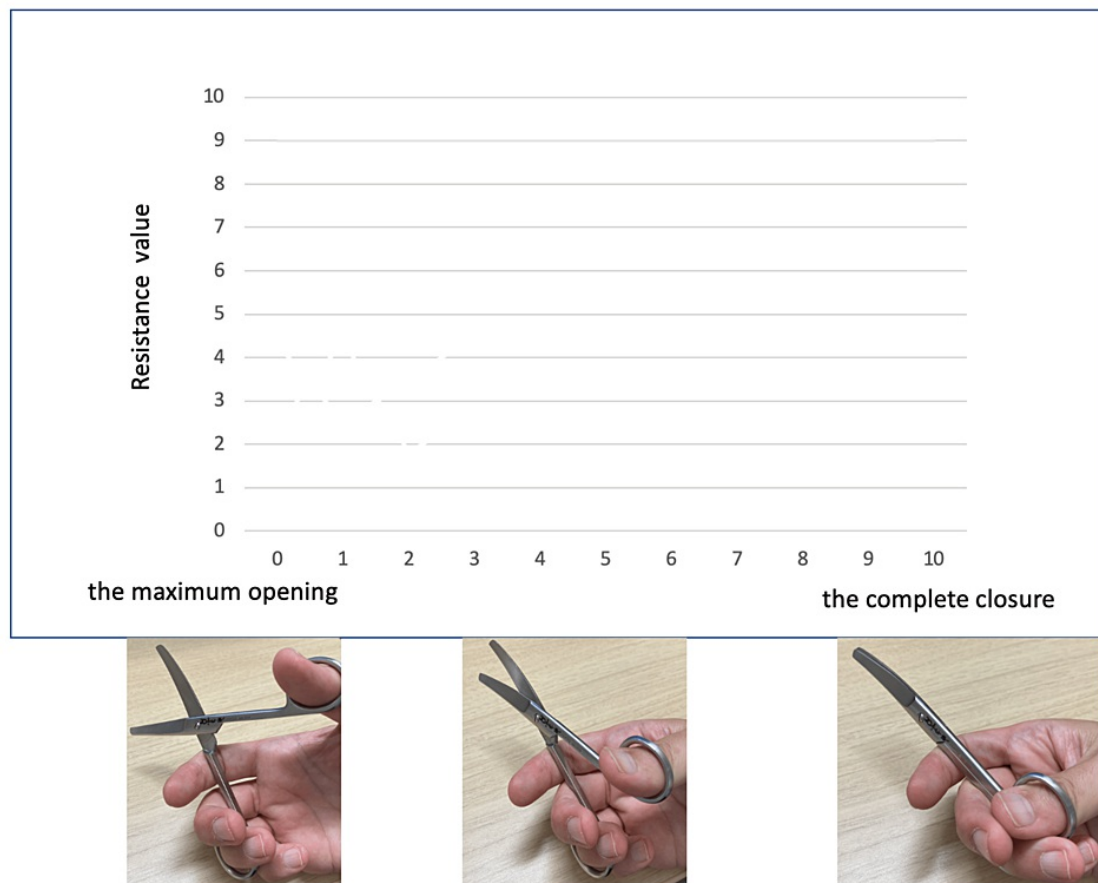


図9 抵抗値記入用紙

スコア10は、これ以上硬いと剪刀を閉じることができないと外科医が判断する硬さのレベルと定義した

外科医の主観的抵抗値の統計的分析

まず、5本の剪刀のうち、1本をコントロールとした。少なくとも2週間のウォッシュアウト期間の後、コントロール剪刀の主観的抵抗値を再度測定した。コントロールの剪刀の2回の測定結果について、外科医による主観的抵抗値評価の再現性を評価するために相関分析を行った。また2つの独立変数、すなわち「剪刀の種類」（試料要因）と「剪刀の閉じ始めから終わりまでの刃の重なる位置」（位置要因）が、主観的抵抗値（応答変数）の変動に及ぼす影響を評価するために、二要因分散分析を採用した。また、2つの要因が独立に主観的抵抗値に影響する場合には、交互作用についても評価した。その後、下位検定により試料要因を調べ、有意差があるかどうかを判定した。窒化前と窒化後の主観的抵抗値の変化を分析するために、被験者は窒化处理後に再度主観的抵抗値の測定を行った。それらの結果について、再び二要因分散分析を行った。

統計解析はRバージョン4.0.2(The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)で行った。相関係数(r) >0.2 を相関あり、 $r>0.4$ を中程度の相関あり、 $r>0.7$ を強い相関ありとし、 p 値 <0.05 を有意とした。

低温プラズマ窒化処理とマスキング（表 4、図 10）

剪刀の耐久性を高めるために、コントロールを除く 4 つの剪刀には、低温プラズマ窒化処理が施された。Radio frequency 帯の高周波電力印加と Direct Current(DC) 直流バイアス印加を融合した自励発振方式によるプラズマ発生装置を用いることで、500℃以下の低温プラズマ窒化を行った。低温処理を行うことで歪みのリスクを低減した。窒化処理という表面処理は窒素コーティングすることで硬度を高めるが摩擦抵抗が増加し、実際の使用における快適性が低下するということが懸念される。そこで窒化範囲が摺動性に及ぼす影響を評価するため、剪刀 1 はマスキングなしで完全に窒化した。剪刀 2、3、4 は、面取りされた刃先と刃の内側面以外の部分を保護するため、アルミ箔を使用してマスキングを施した（剪刀 2 は 3mm、剪刀 3、4 は 0.5mm の範囲に窒化処理）。このマスキングは、過剰な窒化とその結果としての摺動性能の低下を回避するのに役立つとされる。窒化処理後の硬度は、マイクロビッカース硬度計で測定した。窒化処理した部分とマスキングした部分の硬度を Wilcoxon 順位和検定で分析し、有意差があるかどうかを判定した。この過程は株式会社小松精機工作所で行った。

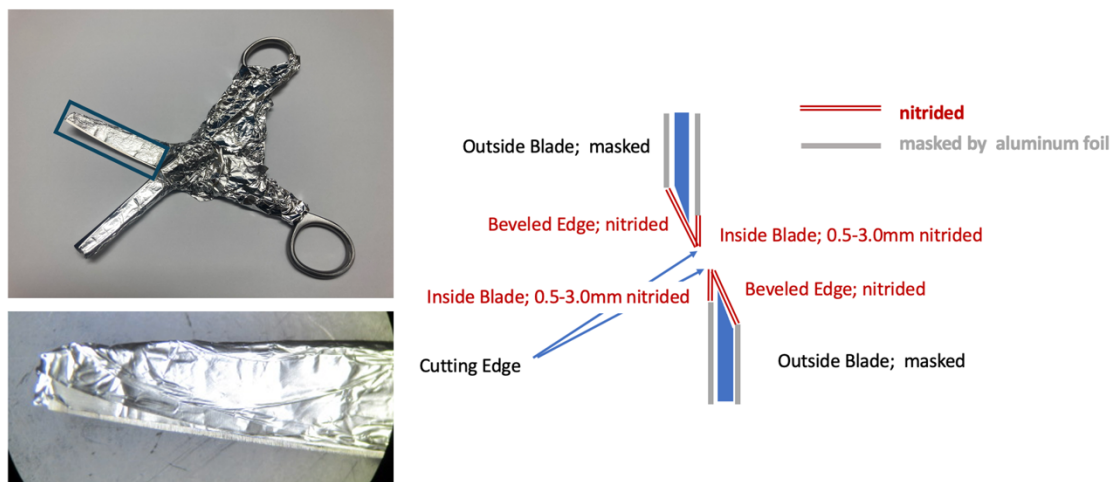


図 10 窒化処理とマスキング

赤色で示す範囲、刃の先端の範囲にのみ窒化処理できるように写真のようにアルミ箔でマスキングした。剪刀 1 はマスキングなしで完全に窒化処理を施した。剪刀 2 は 3mm、剪刀 3、4 は 0.5mm の範囲に窒化処理を施した。

表 4. Nitriding Condition

Scissors Number	H ₂ (ml/min)	N ₂ (ml/min)	DC bias(V)	RF(V)	Reactor temperature(°C)	Nitriding time(h)
1	10	50	300	230	420	4
2	10	50	400	230	420	4
3	10	50	400	230	420	4
4	10	50	400	230	420	4

Scissors Number 1 : No masked , 2 : Masked in 3 mm, 3 : Masked in 0.5 mm, 4 : Masked in 0.5 mm.

DC: Direct Current, RF: Radio Frequency

窒化処理後の主観的、客観的抵抗値の測定

窒化効果を評価するため、4本の窒化処理後の剪刀と1本のコントロール剪刀について、外科医による主観的抵抗値測定が行われた。窒化前後の抵抗値の変化を二要因分散分析で検討した。窒化後の主観的抵抗値を比較するため、剪刀の客観的抵抗値を研究Ⅰに習いデジタルフォースゲージを用いて測定した。客観的抵抗値の測定は栃木県産業技術センターで行い、卓上荷重試験機（型式FTN1-13A-F、日本、長久手市、アイコーエンジニアリング製）を用いた（図11）。剪刀の持ち手を10mm/minの速度で剪刀が初期開始位置から完全に閉じるまで圧縮し、剪刀を閉じるのに最低限必要な荷重値と完全に閉じるまでの時間を測定した。荷重値（N）は各剪刀で2回ずつ測定し、縦軸に2回の荷重値の平均値、横軸に測定時間（秒）のグラフを作成した。横軸は、5本の剪刀がすべて閉じきった瞬間が0秒になるように調整した。



図 1 1 卓上荷重試験機

剪刀を開き、片方の持ち手をバイスで水平に固定し、もう片方の持ち手に荷重をかけ剪刀の閉鎖に必要な荷重を測定した。

3-3. 結果

外科医の主観的抵抗値の統計的分析

5人の外科医が時間をおいて2回測定したコントロール剪刀の主観的抵抗値 (Subjective resistance value) の平均と偏差を分析した (図 1 2 A)。抵抗値は位置スコア (position score) 5 から増加し、剪刀の弯曲が始まる部分と一致した。また、各被験者の1回目の主観的抵抗値を横軸に、2回目の主観的抵抗値を縦軸に散布図を作成した。相関分析の結果、相関係数(r)は 0.746 であり、強い相関が認められた。したがって、経験豊富な外科医による主観的抵抗の測定は、再現性が高いと判断された (図 1 2 B)。

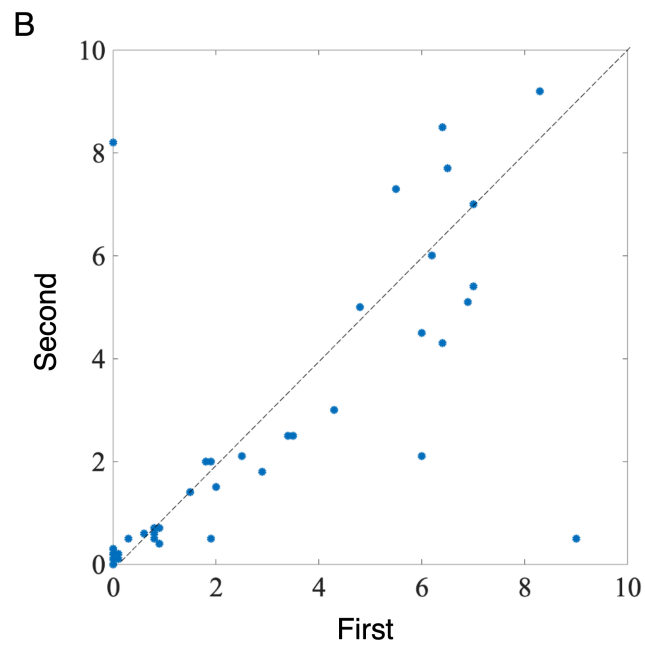
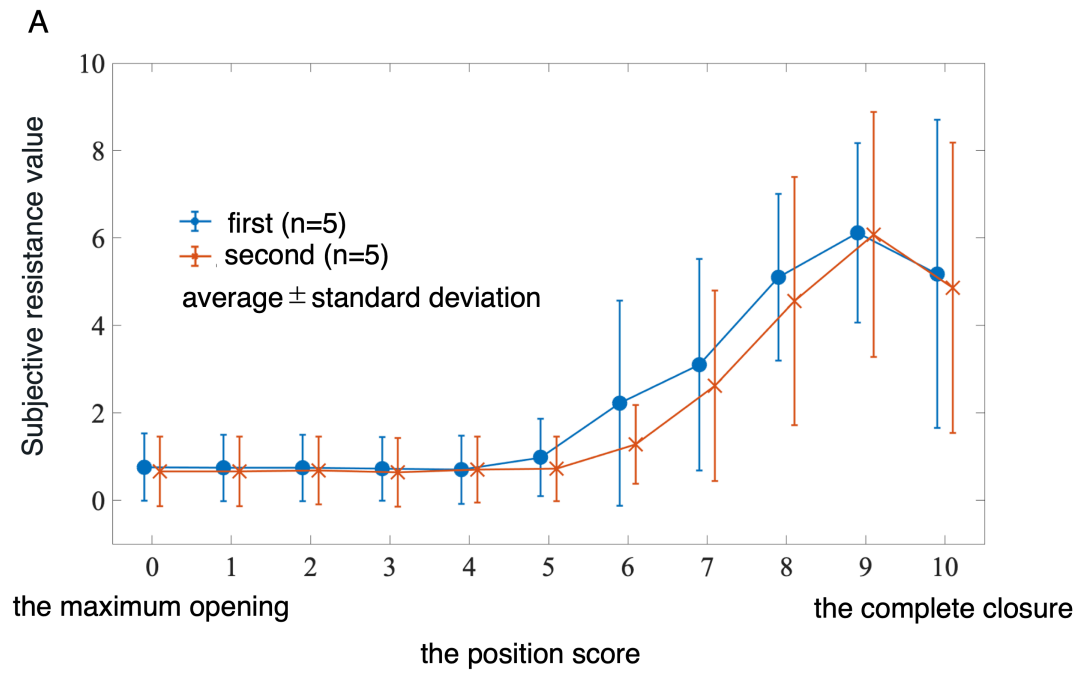


図 1 2 コントロール剪刀の主観的抵抗値測定 2 回の分析

A：主観的抵抗値測定の平均と偏差

B：主観的抵抗値測定 2 回の相関 ($r=0.746$)

主観的抵抗値の二要因分散分析（図 1 3 A）

窒化处理前に術者が最初に行った主観的抵抗測定について、二要因分散分析を行った。その結果、試料要因（剪刀毎）に有意差（ $F(4)=12.5008$ 、 $p<0.0001$ 、部分 $\eta^2=0.0847$ ）、位置要因に有意差（ $F(10)=25.4379$ 、 $p<0.0001$ 、部分 $\eta^2=0.4309$ ）、および交互作用に有意差（ $F(40)=1.6478$ 、 $p=0.0131$ 、部分 $\eta^2=0.1117$ ）が示された。二要因分散分析の結果は、剪刀の種類（試料要因）と剪刀の刃の重なる位置（位置要因）が、主観的抵抗値（反応変数）の変動に関する独立変数として機能することを示した。さらに、これら 2 つの因子の間に統計的に有意な交互作用が存在することを立証した（ $p=0.0131$ ）。サンプル間の多重比較のための下位検定の結果、コントロール剪刀と剪刀 1、2、3、および剪刀 4 と剪刀 1、2、3 の間の総合位置スコア（0 から 10 の範囲）に有意差があることが明らかになった。同様に、剪断閉鎖位置スコア 8、9、10 においても、コントロール剪刀と剪刀 1、2、3、および剪刀 4 と剪刀 1、2、3 の間に有意差が認められた。

窒化处理前後の主観的抵抗値

表裏の窒化部とマスキング部の硬度をマイクロビッカーズ硬度計でビッカーズ硬度(HV)として測定した（表 5）。4 本の剪刀の窒化处理部の硬度は $1,214.1\pm120.2\text{HV}$ であったが、マスキング部の硬度は $584.5\pm26.8\text{HV}$ であり、窒化处理部の硬度が有意に上昇した（ $p<0.0001$ ）。

窒化处理前、剪刀4はコントロール剪刀と同様の主観的な抵抗値の推移を示したが、剪刀1、2、3はコントロール剪刀よりも低い抵抗値を示した。しかし、窒化处理後は、すべての抵抗値が閉じ始め（位置スコア0）から増加した。剪刀1、2、3はコントロール剪刀よりも高い抵抗値を示し、窒化前にすでに高い抵抗値を示していた剪刀4は、さらに高い抵抗値を示した。

二要因分散分析の結果、2 回目の測定ではコントロール剪刀の主観的抵抗値

に変化はなく ($p=0.4447$)、前述のように 1 回目の測定との強い相関が維持された。しかし、剪刀 1、2、3、4 は、窒化处理後に主観的抵抗値が有意に増加した ($p<0.0001$) (図 1 3 B)。

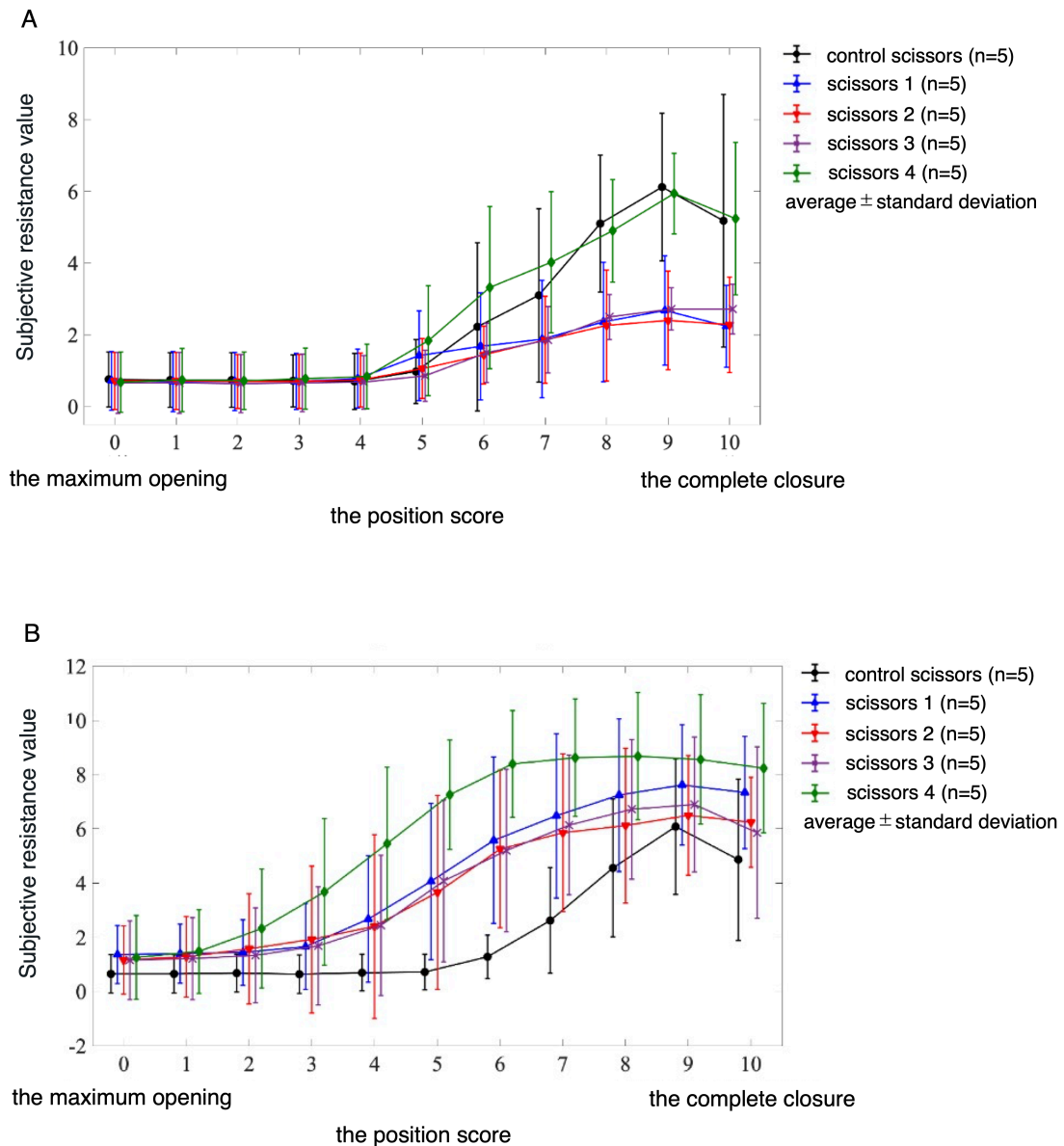


図 1 3 剪刀の平均主観的抵抗値

A：窒化处理前の 1 回目の計測； 最初の主観的抵抗値測定は、窒化处理前の二要因分散分析と下位検定によって行われた。

二要因分散分析：試料要因：主効果あり ($p<0.0001$)、位置要因：主効果あり ($p<0.0001$)、交互作用：あり ($p=0.0131$)

下位検定：コントロールとその他試料間で有意差が認められた組み合わせ；コントロール>剪刀 1 ($p=0.0002$)、コントロール>剪刀 2 ($p<0.0001$)、コントロール>剪刀 3 ($p=0.0001$)

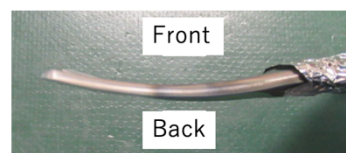
その他有意差が認められた組み合わせ; 剪刀 4 > 剪刀 1 ($p < 0.0001$)、剪刀 4 > 剪刀 2 ($p < 0.0001$)、剪刀 4 > 剪刀 3 ($p < 0.0001$)

B : 窒化処理後の 2 回目の計測 ; 剪刀 1~4 は、窒化処理後に主観的抵抗値が有意に上昇した (条件要因の主効果あり : $p < 0.0001$)。コントロール剪刀では、主観的抵抗値の変化は認めなかった (条件要因の主効果なし : $p = 0.4447$)。

表 5 . Hardness following Nitriding

		Front(HV)		Back(HV)	
		Nitrided	Masked	Nitrided	Masked
Scissors 1	total nitrided	1291		1152	
Scissors 2	3mm nitrided	1278	562	1130	608
Scissors 3	0.5mm nitrided	1334	558	1119	558
Scissors 4	0.5mm nitrided	1393	626	1016	595

HV: Vickers Hardness



主観的抵抗値と客観的抵抗値

主観的抵抗値（図 1 3 B）と客観的抵抗値（図 1 4）のグラフを比較した。2つのグラフのうち、コントロール剪刀と比較すると、剪刀 1、2、3 は抵抗値がわずかに増加しているのに対し、剪刀 4 は顕著に抵抗値が増加している。2つのグラフの縦軸と横軸の単位は異なるものの、剪刀の抵抗値の経時的变化は類似性が示唆された。

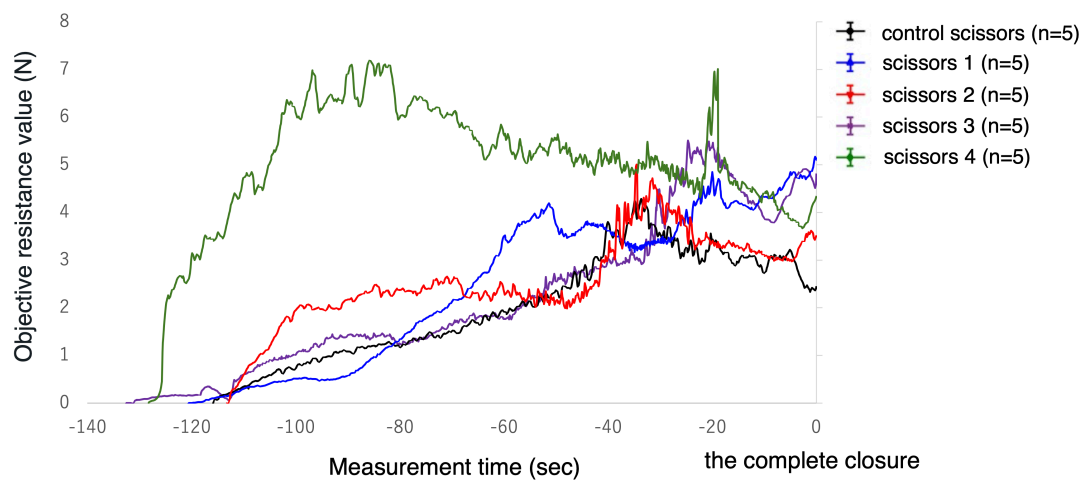


図 1 4 剪刀閉じる際の客観的抵抗値（荷重値）：窒化処理後の計測

3-4. 小括

剪刀の抵抗値に関する外科医の主観的評価を通じて、外科医における触覚フィードバックの高い再現性を科学的に実証した。剪刀を窒化処理することで刃を強化することができたが、主観的な測定方法を用いて、窒化処理後の抵抗値の有意な増加を認めた。この結果は荷重の実測試験の結果と近似した結果であることが証明された。この主観的評価法は外科医の触覚に頼った主観的評価であるにもかかわらず、その高い再現性と信頼性を示す結果であった。

本実験の内容はCureus誌に掲載された（Ota G, Shiozawa M, Watanabe J, Maeda Y, Oiwa K, Mizuno J, Sata N, Kawahira H. Evaluation of Scissor Glide Characteristics Through Surgeons' Subjective Assessment: The Application of Nitriding in Scissor Hardening Tests. *Cureus* 2024;16(1): e52402.）。

第4章 考察

剪刀は手術で使用される最も重要な器具の一つであり、その有用性を向上させることは手術成績を向上させるために不可欠である。研究 I では、外科剪刀の使用感に影響を与える因子について考察した。本研究の目的は、官能試験で主観的な使い心地を評価すること、実測試験で剪刀の基本性能を客観的に評価することにより、外科医の剪刀に対する使い心地と客観的な物理的特性との関係を調査することであった。そして、剪刀による対象物の切断は剪刀閉鎖時に行われるため、まずは剪刀閉鎖に必要な荷重が外科医の剪刀の使い心地に及ぼす影響について検討した。剪刀の製造過程で生じる誤差の存在については過去の研究においても指摘されており(1)、同一ロットの剪刀でも使用感が異なることが予備実験で確認されていた。そのため、形状や寸法など荷重以外の条件の違いをできるだけ少なくするために、同じロットで製造された同じ製品の剪刀を用い、製造過程で生じた誤差による使用感の違いを利用して剪刀の条件を変えることで実験を行った。そして、官能試験と実測試験で得られた結果の相関関係を調べた。その結果、平均荷重が低いほど、術者は剪刀閉鎖時に快適さを感じ、先端部の荷重値の変化が少ないほど、術者は快適さを感じるということがわかった。また、多変量解析の結果、平均荷重値よりも先端部の荷重変化の方が快適性への影響が大きいことが示された。

剪刀に関する研究は、VR やロボット手術機器の開発の必要性から最近になって関心が高まってきている。Greenish ら(6)と Mahvash ら(7)は、切断時に剪刀にかかる力を研究し、モデル化を試みている。Greenish らは、触覚の違いは大きな力の違いと低周波の質感成分の組み合わせで構成されることに言及している(6)。本研究では、平均荷重値が低く、荷重値の変化が小さいことが、外科医の快適性の向上と相関することが示された。この結果は外科医が剪刀から手に伝

わる物理的な力を感じ取り、使い心地を評価していることを示している。特に本研究の結果は、先端の荷重の変化量が剪刀の良し悪しを判断する要因であることを示した。剪刀 8 では平均荷重値は高いが、先端部の荷重変化が小さく、術者の評価は良好であった。Waga らは、ハサミで切るときの機械的刺激と触覚の関係を評価し、切れ味はハサミを閉じるときのわずかな力の変化や、切り終わるときの急激な圧力の低下で感じると主張している(10)。このことは本研究の結果を支持するものといえる。外科医は意識せずとも、Waga らの定義する切れ味のような機械的刺激の変化を感じ取り、快適、不快を判断していると考えられる。特に外科手術において、腹腔内の臓器で精密に切断する必要がある際には剪刀の先端部分を用いて行うため、先端部の荷重変化を重要視することは手術における安全性評価を反映している可能性がある。外科医の求める基本性能が客観化されることで、ロボットを安全に制御する技術に応用することが期待できる。

近年、感性工学は、自動車産業やエレクトロニクス産業における製品開発や安全性向上に応用されている(25, 26)。理美容ハサミでは、Boyles らが使用者の負担軽減を目的としたハサミのハンドルの人間工学的設計について研究している(27)。布用ハサミでは、Adeleye らと Dianat らも同様に、使用者の負担を軽減するためのハンドルデザインを研究している(28, 29)。手術環境においても人間工学的介入は、手術の効率と安全性を最大化することが知られている(16, 17)。Shimomura らは、手術で使用する剪刀の新しいハンドルを設計し、使いやすさについて、負担軽減という観点から筋電図を用いてその有効性を評価し、この新しいハンドル設計が筋緊張を軽減し、作業効率を向上させることを報告した(30)。これまで触覚と人間工学的負担軽減に関する研究はあるが、“Scissors”、“comfort”、“usability”、“剪刀”、“はさみ”、“快適”、“ユーザビリティ”といった検索ワードに Pubmed や医学中央雑誌による検索では、剪刀使用中の快適性に関する報告はみつけることができなかった。Garmer らは、医療機器のユーザーインタ

一フェイスの改善は、事故率の低下と器具の習得時間の短縮につながると主張している(18)。剪刀の使いやすさを向上させることは、手術の効率と安全性を最大限に高めるために重要である。

研究Ⅰでは、剪刀の使用時の快適さを主観的に評価する際に、剪刀を閉じる際の荷重の変化という物理的特性を感じ取っている可能性が示されたが、外科医の主観的評価の再現性については明らかになっておらず、その主観的評価法の妥当性には疑問が残った。そのため、研究Ⅱでは、外科医の主観的評価の妥当性を検証し、その手法で窒化処理への応用を試みた。そして、外科医の剪刀の抵抗に関する主観的評価が、個人間で高い一貫性を示すことを実証した。この再現性を利用して、本研究では、剪刀閉鎖時に感じる主観的抵抗値を評価した。さらに、窒化処理により抵抗値が増加した後に行った実測試験による客観的評価は、外科医の剪刀に対する主観的評価と一貫性があった。聴診、触診、視診などの感覚に基づく手技は、診断方法の要である。小児医療の分野では、母親の主観的な発熱評価の信頼性について過去に検討されたことがある(31, 32)。しかし、長い年月を経ても、その再現性は確立されていない(33)。医療従事者の触診技術の再現性を評価した研究はほとんどない。現代の文献でさえ、触診による患者の腹部状態の評価は、触覚に大きく依存し、患者が必要な反応を示す必要があるため、再現するのが困難な臨床技術であることに変わりはない(34)。我々の知る限り、本研究は、医師による触覚の主観的評価を統計的に分析し、その結果を客観的な抵抗指標と比較した初めての研究である。

この研究は、剪刀使用時の主観的抵抗値を測定し、個人間および複数の外科医間で経時的に評価するという点で斬新であり、同様の研究はない。本研究では時間強度分析を採用することで、外科医の主観的評価の再現性を統計学的に示すことができた。時間強度分析は、時間経過に伴う属性の知覚の変化を調べることで、この方法は、食品関連の研究領域において、味覚などの官能試験の評価手法

として採用されてきた(35, 36)。

外科手術で剪刀は必要不可欠なものであるが、特に発展途上国では、研磨が困難、供給が不安定といった問題から状態の悪い剪刀の使用を余儀なくされることがある。どのような医療環境でも品質の良い剪刀を提供するために、耐久性の向上は重要事項である。今回窒化処理した剪刀の使用感について窒化前後で調査した結果、本実験で行われた手法により窒化処理された剪刀は、マスキングされた剪刀も含めて、窒化処理前に比べて抵抗が著しく増加し実用に耐えうるものではなかった。快適性を維持するためには、既製品に窒化処理を施すのではなく、窒化による摩擦抵抗の増加も加味した設計、剪刀を組み上げる前の窒化処理により、快適性を維持できる可能性がある。先進国の医療分野では清潔性や安全性の点からディスプレイ可能な商品が増えているが、SDGs の時代においては耐久性にも目を向ける必要がある。

この研究は、限られた施設の外科医が、単一の種類の剪刀を用いて行ったものである。将来的には、異なる形状や長さの剪刀を複数の施設の外科医によって評価されることが望ましい。研究Ⅰにおいては、「快適」「不快」という一つの基準、研究Ⅱにおいては手に感じる抵抗値という一つの基準だけでの評価であった。そして、時間強度分析は剪刀のように経時的な変化を感じやすい器具の主観的評価の計測には有効であるが、近年の低侵襲手術に使う器具はサイズが小さく、時間経過に伴う変化を感じにくいものも存在するため、使いやすさについての別の評価基準が必要となる。今後、器具のサイズや特性に応じた複数の評価項目を用いた感度評価が望まれる。今回の研究では客観的評価項目として、研究Ⅰで行われた実測試験の結果から圧の変化として微細な圧の変化が記録された。今後このような微振動を評価することで切れ味や官能評価に関連する因子となりうる。先端での荷重の変化が剪刀の快適性に影響を与えた結果はその一部を示している可能性がある。また両研究ともに組織や材料の付着による刃の鈍化や

切れ味の変化を防ぐため、実際の組織や材料を切断せずに剪刀を閉じて抵抗を測定した。今後は、形状や長さの異なる剪刀の物理的特性を検討し、複数の評価項目による感性評価や、組織や材料の切断といった実際の使用時の評価をしていく必要がある。

本研究ではまず、外科医が剪刀を使用する際の快適性という主観的評価の根拠となる因子について客観的証拠を示した。このことは外科医が剪刀を使用する際に、手に伝わる力を感じ取り、その微妙な変化を使い心地として評価していることを示している。さらに、外科医の主観的評価の高い再現性を示し、主観的評価の信頼性を確認した。その再現性を利用して、硬度を高める処理を施した剪刀の評価を行い、その主観的評価は客観的な実測試験と同様の結果が得られた。過去に外科医の感性の客観性と再現性を評価した研究はほとんどない。本研究は、剪刀を通じて外科医の感性の主観的評価を統計学的に分析し、その結果を客観的な指標と比較した初めての報告である。これまでは直感とされて、曖昧で測定できないとされていた外科医の経験知を客観的測定値との相関を示すことで、外科医の直感には測定可能な領域がありうることを示した。さらにはその曖昧とされる主観的評価の再現性や客観性について考察した基礎研究に発展した。本研究の経験から、今後これまで客観的評価が難しいとされていた経験や感覚に頼った診察や手技を客観的数値で評価できる可能性が示唆された。外科医の触覚は評価に値するものであり、外科医が手術道具の何を良いとするかを追求し客観化することで、革新的な手術器具の開発に繋がることが期待できる。手術手技においては、例えば外科医は手術中に臓器の脆弱さに応じて、把持する力や糸の結紮力など、臓器に伝わる力を調整し、愛護的に扱っている。これまではその指導医の技術を見て、経験し学んできたが、外科医が理想と考える技術を客観化することで手術の質、安全性の向上や手術教育の質の向上にも大きなブレイクスルーとなることが期待できる。また、剪刀や手術器具の使用時以外にも、触

診や打診など触覚に頼った判断について感性計測により客観的評価ができるようになると、さらなる医療の発展に寄与することができる。

第5章 おわりに

外科医は、剪刀閉鎖に必要な平均荷重値が小さく、先端部の荷重値の変化が小さい剪刀をより快適と評価していることが証明された。また、剪刀閉鎖時に感じる抵抗値に対する外科医の主観的評価を通じて、外科医の触覚フィードバックの高い再現性と妥当性を実証した。外科医の主観的評価の高い再現性は、他の医療機器開発にとっても極めて重要な基礎データとなる。その主観的評価を窒化処理前後の剪刀に対して応用し、窒化処理による摺動性の著しい増加を確認したが、窒化処理を施した剪刀の実用化にはクリアすべき課題が残っている。手術器具の使用感、快適さという暗黙知を明らかにし、開発に応用することで、術者のストレスや身体的負担が軽減され、術者の快適性、手術の質、手術成績の向上に寄与すると期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた自治医科大学消化器一般移植外科部門、川平洋教授、堀江久永教授、佐田尚宏教授に深く感謝いたします。

剪刀の実測試験にご協力いただいたミズホ株式会社五泉工場の皆様、栃木県産業試験センターの皆様に深く感謝いたします。

統計解析でご指導いただいた、自治医科大学地域医療学センター公衆衛生学部門、阿江竜介教授に深く感謝いたします。

剪刀の窒化処理実験についてご指導、ご協力をいただいた台湾成功大学、水野潤教授、そして株式会社小松精機工作所、阿部倖太様、小松隆史様に深く感謝いたします。

感性工学的解析についてご指導いただいた長岡技術科学大学、大岩孝輔准教授、自治医科大学メディカルシミュレーションセンター、前田佳孝講師に深く感謝いたします。

最後に研究の計画・遂行にあたり様々なご助言、研究の支援を頂いた自治医科大学消化器一般移植外科学教室の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

1. Brophy T, Srodon PD, Briggs C, Barry P, Steatham J, Birch MJ. Quality of surgical instruments. *Ann R Coll Surg Engl.* 88:390-3, 2006.
2. Birkmeyer JD, Finks JF, O'Reilly A, Oerline M, Carlin AM, Nunn AR, Dimick J, Banerjee M, Birkmeyer NJ. Surgical skill and complication rates after bariatric surgery. *N Engl J Med.* 369:1434-42, 2013.
3. Stulberg JJ, Huang R, Kreutzer L, Ban K, Champagne BJ, Steele SR, Johnson JK, Holl JL, Greenberg CC, Bilimoria KY. Association Between Surgeon Technical Skills and Patient Outcomes. *JAMA Surg.* 155:960-8, 2020.
4. Haag R, Storz W. Surgical Scissors. In: Kramme R, Hoffmann K-P, Pozos RS, editors. *Springer Handbook of Medical Technology.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; p. 1291-319, 2011.
5. Kirkup J. Surgical history. The history and evolution of surgical instruments. IX Scissors and related pivot-controlled cutting instruments. *Ann R Coll Surg Engl.* 80:422-32, 1998.
6. Greenish S, Hayward V, Chial V, Okamura A, Steffen T. Measurement, Analysis, and Display of Haptic Signals During Surgical Cutting. Presence: *Teleoperators and Virtual Environments.* 11:626-51, 2002.
7. Mahvash M, Voo LM, Kim D, Jeung K, Wainer J, Okamura AM. Modeling the forces of cutting with scissors. *IEEE Trans Biomed Eng.* 55:848-56, 2008.
8. Funahashi K, Kubotani D, Iwahori Y, Tanida K. Virtual Scissors in a Thin Haptic and Force Feedback Environment. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics.* 13:283-8, 2009.
9. Okamura AM, Webster RJ, Nolin JT, Johnson K, Jafry H, editors. The haptic

scissors: Cutting in virtual environments. *2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat No 03CH37422)*. 1:828-833, IEEE, 2003.

10. Waga M, Aita Y, Noma J, Nonomura Y. Tactile Feels in Grasping/Cutting Processes with Scissors. *Technologies*. 6:66, 2018.

11. Callaghan D. Force sensing surgical scissor blades using fibre bragg grating sensors. *Dublin Institute of Technology*, Dublin, Ireland, 2013.

12. Berguer R, Hreljac A. The relationship between hand size and difficulty using surgical instruments: A survey of 726 laparoscopic surgeons. *Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques*. 18:508-12, 2004.

13. Harper JD, Figueroa H, Ebrahimi K, Baldwin DD. Laparoscopic scissors: a subjective and objective comparison of three brands. *J Endourol*. 23:1359-63, 2009.

14. Karponis D, Koya Y, Miyazaki R, Kanno T, Kawashima K. Evaluation of a pneumatic surgical robot with dynamic force feedback. *Journal of Robotic Surgery*. 13:413-21, 2019.

15. Moradi Dalvand M, Shirinzadeh B, Nahavandi S, Smith J. Effects of realistic force feedback in a robotic assisted minimally invasive surgery system. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*. 23:127-35, 2014.

16. Berguer R. Surgery and ergonomics. *Arch Surg*. 134:1011-6, 1999.

17. Martin JL, Norris BJ, Murphy E, Crowe JA. Medical device development: The challenge for ergonomics. *Applied Ergonomics*. 39:271-83, 2008.

18. Garmer K, Ylvén J, MariAnne Karlsson IC. User participation in requirements elicitation comparing focus group interviews and usability tests for eliciting usability requirements for medical equipment: a case study. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 33:85-98, 2004.

19. Borgioli F. The “Expanded” Phases in the Low-Temperature Treated Stainless

Steels: A Review. *Metals*. 12:331, 2022.

20. Zhou Y-L, Xia F, Xie A-J, Peng H-P, Wang J-H, Li Z-W. A Review—Effect of Accelerating Methods on Gas Nitriding: Accelerating Mechanism, Nitriding Behavior, and Techno-Economic Analysis. *Coatings*. 13:1846, 2023.

21. Instruments. In: Wallwiener D, Becker S editors. *Atlas of Gynecologic Surgery [Internet]*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 4th edition. 2014. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0034-91237>.

22. Hjermstad MJ, Fayers PM, Haugen DF, Caraceni A, Hanks GW, Loge JH, Fainsinger R, Aass N, Kaasa S. Studies comparing Numerical Rating Scales, Verbal Rating Scales, and Visual Analogue Scales for assessment of pain intensity in adults: a systematic literature review. *J Pain Symptom Manage*. 41:1073-93, 2011.

23. Pereira BP, Lucas PW, Swee-Hin T. Ranking the fracture toughness of thin mammalian soft tissues using the scissors cutting test. *Journal of Biomechanics*. 30:91-4, 1997.

24. Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZ' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant*. 48:452-8, 2013.

25. López Ó, Murillo C, González A. Systematic Literature Reviews in Kansei Engineering for Product Design-A Comparative Study from 1995 to 2020. *Sensors (Basel)*. 21:6532, 2021.

26. Shin JG, Kim SH. Intelligibility of Haptic Signals in Vehicle Information Systems. *Sensors (Basel)*. 21:4583, 2021.

27. Boyles JL, Yearout RD, Rys MJ. Ergonomic scissors for hairdressing. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 32:199-207, 2003.

28. Adeleye AA, Alabdulkarim SA, Nussbaum MA. Impacts of different fabric scissor designs on physical demands and performance in simulated fabric cutting tasks.

Appl Ergon. 89:103219, 2020.

29. Dianat I, Asadollahi S, Nedaei M. Evaluation of design alternatives for sewing scissors with respect to hand performance, discomfort and usability. *Int J Occup Saf Ergon.* 25:386-93, 2019.
30. Shimomura Y, Shirakawa H, Sekine M, Katsuura T, Igarashi T. Ergonomic design and evaluation of new surgical scissors. *Ergonomics.* 58:1878-84, 2015.
31. Teng CL, Ng CJ, Nik-Sherina H, Zailinawati AH, Tong SF. The Accuracy of Mother's Touch to Detect Fever in Children: A Systematic Review. *Journal of Tropical Pediatrics.* 54:70-3, 2007.
32. Wammanda RD, Onazi SO. Ability of mothers to assess the presence of fever in their children: implication for the treatment of fever under the IMCI guidelines. *Ann Afr Med.* 8:173-6, 2009.
33. Abdulkadir MB, Johnson WBR, Ibraheem RM. Validity and accuracy of maternal tactile assessment for fever in under-five children in north central Nigeria: a cross-sectional study. *BMJ Open.* 4:e005776, 2014.
34. Xu X, Wang H, Luo J, Zhang C, Konge L, Tang L. Difficulties in using simulation to assess abdominal palpation skills. *BMC Med Educ.* 23:897, 2023.
35. Zimoch J, Findlay C. Effective discrimination of meat tenderness using dual attribute time intensity. *Journal of food science.* 63:940-4, 1998.
36. Palazzo A, Carvalho M, Efraim P, Bolini H. The determination of isosweetness concentrations of sucralose, rebaudioside and neotame as sucrose substitutes in new diet chocolate formulations using the time-intensity analysis. *Journal of Sensory Studies.* 26:291-7, 2011.