

骨用ドリルの穿孔性能に及ぼす刃先形状ならびに DLCコーティングの影響

金枝 敏明・中谷 達行・寺野 元規*・平野 博之**

岡山理科大学フロンティア理工学研究所

*岡山理科大学工学部機械システム工学科

**岡山理科大学工学部応用化学科

2021年12月15日受理

1. はじめに

人工関節置換術および骨折治療術では、固定用ボルトを埋め込む過程で骨手術用ドリル（以下、骨用ドリルと記す）を用いて、穿孔を行う必要がある。骨用ドリルの材質は、「医薬品、療機器等の品質、有効性および安全性の確保等に関する法律（医薬品医療機器等法）¹⁾」にて認可されているSUS630（析出硬化系ステンレス鋼）が用いられている。これは、耐食性に優れ、滅菌加工が容易なことに起因する。しかし、骨用ドリルの切れ味の悪さが原因で、手術が難航するという指摘が医師から挙がっている。これを工学的に理解すれば、ドリルの刃先形状が適当でないことや耐摩耗性の低さに起因していると考えられる。

これまでに、刃先形状（先端角、ねじれ角、シンニング形状）や材質による穿孔性能（トルク、スラスト）の比較を行っている^{2),3)}。本報では、耐摩耗性の低さに焦点を当て、その向上を目的とする。具体的には、人骨に相当する人工的な擬似骨に対し、生体適合性が高く、耐摩耗性に優れたDLCコーティングを施したSUS630製ドリルにて穿孔試験を行い、ドリルの摩耗および穿孔性能について調査する。

2. 試験装置および試験片

2.1 穿孔試験装置

図1に試験装置を示す。擬似骨（試験片）の穿孔には、小型切削加工機（FANUC ROBODRILL a-D14LiB5, FANUC）を使用する。穿孔性能評価のため、AST式回転工具動力計（AST-BL, 三保電機製作所）によって切削力のトルクとスラストを測定する。穿孔条件は、医師が骨の穿孔を行う際の値を参考に回転数 $r=1188$ rpm, 送り速度 $f=60$ mm/minとする。

2.2 試験片

試験片の材質はエポキシ樹脂とガラス短繊維の複合材料（密度 1.64 g/cm³）を加圧整形した擬似骨（人骨代替試験材料、皮質骨相当）を用いる。試験片の寸法

は $17\times 17\times 6$ （厚さ）mmである。穿孔深さ $d=6$ mmとし、穴を貫通させる。

表1に擬似骨の測定した圧縮強度を示す。静的圧縮試験には油圧プレス機を用い、衝撃圧縮試験には横型スプリットホプキンソン棒試験機を用いる。

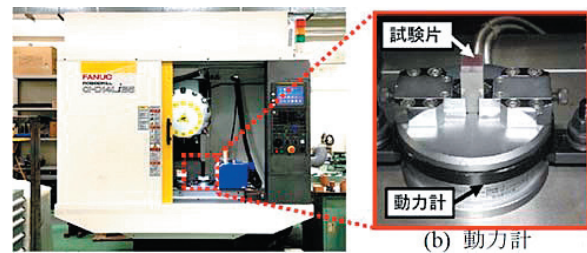


図1 試験装置

表1 擬似骨の圧縮強度

試験法	ひずみ速度	降伏応力
静的圧縮試験	$10^{-2}\sim 10^{-1}$ s ⁻¹	125 MPa
衝撃圧縮試験	$10^2\sim 10^3$ s ⁻¹	26 MPa

表2 ドリル諸元

ドリル	B	O	C	P	D	Q
マーク	●	○	▲	△	■	□
DLCコーティング	×	○	×	○	×	○
先端角	118°		90°			
ねじれ角	18°		30°		18°	

2.3 ドリル

表2にドリル諸元を示す。ドリルBとO, CとP, DとQでDLCコーティングの有無が及ぼす影響を調べる。また、ドリルBとD, OとQで先端角が及ぼす影響を、さらにドリルCとD, PとQでねじれ角が及ぼす影響を調べる。

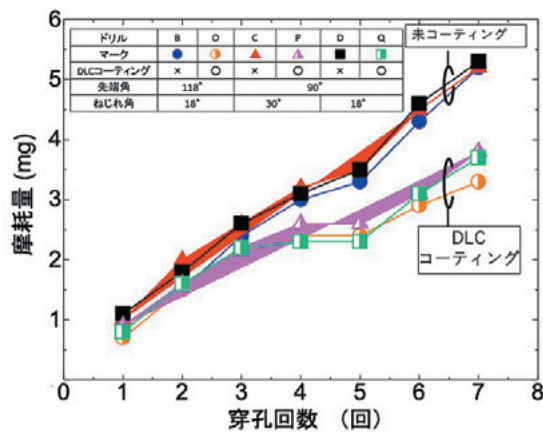


図2 各種ドリルの摩耗量

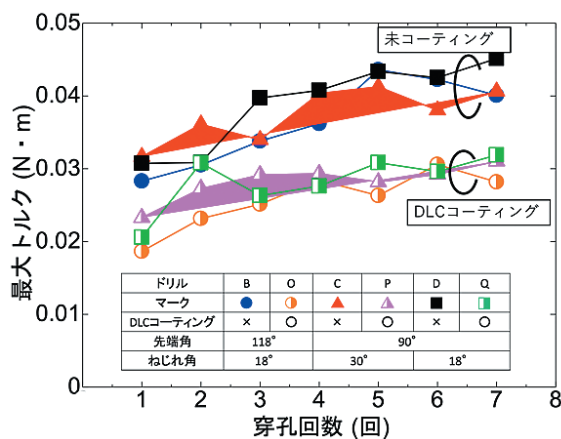


図3 最大トルクに及ぼす穿孔回数の影響

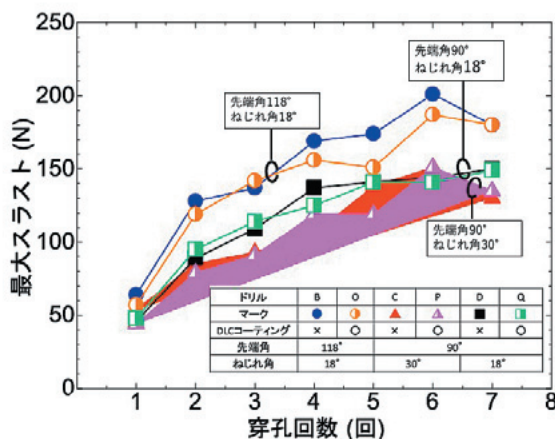


図4 最大トルクに及ぼす穿孔回数の影響

3. 試験結果及び考察

3.1 DLCコーティングの効果

DLCコーティングを施した3種類のドリルO, P, Qは未コーティングのものよりも摩耗量が小さく、最大

トルクも小さい。しかし、最大スラストはDLCコーティングの有無により大差はない。

最大トルクも小さい。しかし、最大スラストはコーティングの有無に関係なく、両者間で大差は認めがたい。

3.2 刃先形状の影響

図より先端角、ねじれ角の摩耗量に及ぼす影響は小さく、最大トルクに対しても小さい。一方、最大スラストでは、先端角118°よりも90°の方が小さい。先端角が小さいと工作物に食い込みやすく、スラストが減少したと考える。また、ねじれ角18°よりも30°の方が最大スラストは小さい。ねじれ角を大きくすることで、すくい角は大きくなり、切れ刃は薄くなる。これにより、切りくず流出がスムーズになり、切削合力の方向がシャンクの方向（上方向）に向くため、スラストが減少したと考える。

4. おわりに

本研究では、先端角、ねじれ角の異なる6種の骨用ドリルを用い、擬似骨の穿孔試験を行い、DLCコーティングの摩耗量および切削力への影響について調査した。その結果を以下にまとめる。

- (1) DLCコーティングドリルでは、摩耗量および最大トルクは小さくなったが、最大スラストへはコーティングの影響は小さかった。
- (2) 刃先形状（ねじれ角、先端角）は最大スラストに影響を及ぼしたが、摩耗量へは大きく影響しなかった。
- (3) 今回試験した6種のドリルの中ではDLCコーティングを施された先端角90°、ねじれ角30°のドリルPが骨用ドリルとして最も適していると言える。

参考文献

- 1) 医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律（医薬品医療機器等法）、第五章 医療機器及び体外診断用医薬品の製造販売業及び製造業等
- 2) 梶田くるみ、金枝敏明、寺野元規、河野晃：骨用ドリルの穿孔性能に及ぼすドリルの刃先形状並びに材質の影響”，日本機械学会中国四国学生会第49回学生会卒業研究発表講演会（2019）106.
- 3) Riku Tanaka, Toshiaki Kaneeda, Motoki Terano, Kurumi Kajita and Akira Kono : Effects of cutting edge shape and material of drill on performance of bone drill, ASPEN2019, (2019) 10.

謝 辞

本学フロンティア理工学研究所中谷達行教授にはDLCコーティングの協力を、帝人ナカシマメディカル株式会社井上貴之氏には種々ご助言をいただいた。穿孔試験は岡山理科大学工作センターの装置を利用し、て実施したので、ここに感謝いたします。

Effects of tool edge geometry and DLC coating on bone drill performance

Toshiaki KANEEDA, Tatsuya NAKATANI, Motoki TERANO*, Hiroyuki HIRANO**

Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science,

**Faculty of Engineering, Okayama University of Science,*

***Faculty of Engineering, Okayama University of Science,*

0-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-city, Okayama 700-0005, Japan

Drilling experiments of pseudo bone block using bone drill were conducted on the small size of cutting apparatus to determine effects of tool edge geometry and DLC coating on wear and cutting force. The block is an alternative material to human cadaver bone for testing made by Sawbone Co. Ltd. The block is a kind of compression molding pressed material composing epoxy resin and reinforced short glass fibers. The block corresponds to cortical bone in human body on mechanical strength. Six kinds of tool for drilling experiments were tested. The experimental results indicated that DLC coating produced lower wear volume and maximum torque, however, no distinct effects on maximum thrust force. Tool geometry, point and helix angle, affected maximum thrust force to some extent, however, wear not too much. In these experiments DLC coating drill with 90° point and 30° helix angle presented the best performance among them.

Keywords: bone drill; pseudo bone; wear volume; torque; thrust force.