

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420053

研究課題名(和文) 微細表面テクスチャを有する低侵襲医療用工具の開発に関する研究

研究課題名(英文) Development of a medical grinding tool with textured surface for minimally invasive surgery

研究代表者

榎本 俊之 (Enomoto, Toshiyuki)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20403149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、外科手術、特に脊椎外科手術の分野では、骨組織切除時の発熱による神経侵害、それによる後遺症麻痺が大きな問題となっている。これを解決するために冷却を目的とした生理食塩水の供給法に関する技術開発が様々に行われているが、手術視野が狭くなるなどの致命的ともいえる実用上の問題がある。そこで本研究ではこうした現状を打破するために、骨切除用の研削工具(通称、ダイヤモンドバー)に着目し、その工具表面に酸化チタンを極めて小さな凹凸になるようにコーティングすることで、骨切除時に発生する加工熱を抑制することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Existing surgical technologies are unable to prevent thermal injury to adjacent tissues such as nerves that result from grinding heat generated during bone resection. To address this problem, bone grinding experiments were conducted under irrigation using commercial surgical diamond wheels to clarify the grinding characteristics. On the basis of the findings, new diamond wheels coated smoothly with submicron-sized titanium dioxide particles were developed. The developed grinding wheels significantly suppressed bone temperature elevation during grinding compared to the commercial wheels.

研究分野：精密加工

キーワード：研削加工 工具 医療

1. 研究開始当初の背景

外科手術においては高速回転工具を用いた骨の切除が頻繁に行われるが、その際に骨細胞や周辺神経への侵襲をとまなうことが多く、その抑制を目的に骨の切除特性に関する様々な検討がなされている。そうした外科手術の中でも特に脊椎外科手術では、重要な組織や神経が切除部位である骨に近接しているため、周辺組織への愛護的な処置を行う観点からドリルといった切削工具と比較し、加工速度の小さい、小径軸付き研削砥石（ダイヤモンドホイール、通称、ダイヤモンドバー）を用いた骨の切除が行われている。

しかし研削加工では医師による慎重な骨の切除を実現できる一方で、切削加工（工具として通称、スチールバーを使用）と比べ発熱が非常に大きいという問題を有している。たとえば脊柱管狭窄症に対して行われる手術では、骨切除時の発熱による周辺神経への侵襲が術後に発生する後遺症麻痺の原因の一つであると指摘されており、その解決が望まれている。これに対して、冷却を目的とした生理食塩水の術部へ供給方法に関する技術開発は数多くなされているが、手術視野が狭くなるなどの致命的な実用上の問題がある。こうしたことから、骨を切除しても大きな発熱を生じない、新たなダイヤモンドバーの開発が強く望まれている。

2. 研究の目的

従来研究では、骨の研削加工時における発生熱分布の解析や冷却水供給法に関する検討は行われてきたが、発熱の原因そのものについては検討されてこなかった。

そこで本研究では、骨の研削加工における発熱による周辺神経への侵襲抑制を目的に、まず骨の加工特性に関する基礎的検討を行い、次にそこで得られた知見にもとづき新たな骨切除用の医療用研削工具、すなわちダイヤモンドバーを開発することとした。

3. 研究の方法

(1) 研削加工における骨の加工特性

ダイヤモンドバーは外科手術において骨の切除に用いられる医療用工具であり、その表面にはダイヤモンド砥粒がめっきによって固着されている。図1にダイヤモンドバー（ナカニシ製 No. 11217）の全体像および走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope；SEM，日立ハイテクノロジーズ製 TM3000）像を示す。加工実験にはマシンングセンタ（ヤマザキマザック製 AVJ-18）を用い、電動式超精密高速スピンドル（ナカニシ製 HES810）にダイヤモンドバーをとりつけて加工を行った。

ダイヤモンドバーはその加工による発熱が骨の周辺神経を侵襲することが知られているため、使用時には生理食塩水の供給が必要となる。そこで、本研究では実際の手術環境を想定した冷却水の供給下（湿式加工、

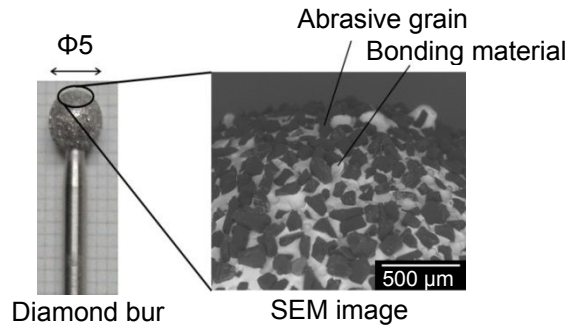
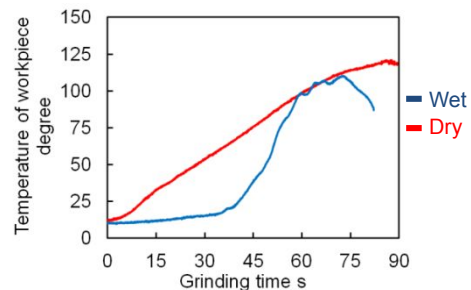


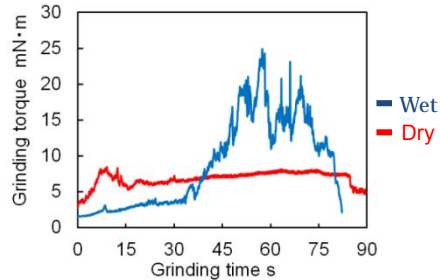
Fig. 1 Conventional surgical wheel

Table 1 Grinding conditions

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Workpiece | Bovine femoral compact bone |
| Tool | Diamond bur |
| Tool geometries | Grain size: #130 Diameter: 5 mm |
| Spindle speed | 5000 rpm |
| Feed | 1 mm/min |
| Coolant | Water (180 mL/h) |



(a) Temperature of workpiece



(b) Grinding torque

Fig. 2 Grinding characteristics of conventional tool

Wet)での加工実験を行った。おもな加工条件を表1に示す。被削材は牛大腿骨を長さ25 mm × 幅15 mm × 厚さ1.5 mmで切り取ることで作成した。加工中の温度の評価では、手術時に神経に近接している部分の温度が特に重要になるため、加工面裏側の温度を熱電対（大晃電工社製 K 型，線径 0.2 mm）を用いて計測した。熱電対は加工面裏側表面，さ

らにその位置は加工時には加工孔の中心，すなわち工具中心線上になるように固定した．また加工中にスピンドルに生じる研削トルクをスピンドルのコントロールユニット（ナカニシ製 E3000）を用いて計測した．

図2に加工面裏側の温度変化とスピンドルの研削トルク変化を示す．図2(a)からわかるように，市販のダイヤモンドバーを用いた場合，研削加工開始から約30秒が経過したあたりで急激に温度が上昇している．また図2(b)より，急激な温度上昇とほぼ同時に研削トルクが急増していることもわかった．そこで加工後の工具を観察したところ，図3(a)に示すように結合材部に被削材である骨の切りくずが強固に付着していることがわかった．

そこで，この骨切りくずの付着の要因を明らかにするために，冷却水を用いず加工実験（乾式加工，Dry）を行い，骨の加工特性を評価した．その結果，図2(a)に示すように乾式加工では温度は研削時間とともに比例的に上昇しており，湿式加工で生じたような急激な温度上昇はみられなかった．また図2(b)より，乾式加工では湿式加工と異なり研削トルクは低く，そしてほぼ一定であり，加工後の工具についても工具表面への切りくずの付着はほとんど見られなかった（図3(b)）．

以上の結果から，温度および研削トルクの急激な上昇はこの工具表面への切りくずの付着によるものと推測され，その発生には冷却水の供給が大きく影響していることがわかった．その要因としては，皮質骨の成分の半分程度がヒドロキシアパタイトで構成されることによるものと考えられる．ヒドロキシアパタイトは結晶内に親水基を持ち，水を引きつけ水和殻を形成するため，切りくずの粘着性が増す．その結果，乾式加工時と比べ切りくずが工具表面上に付着しやすくなり，さらに加工環境下における高温，高圧によって強固な切りくずの付着が発生したと考えられる．

(2) 骨の研削加工における発熱の抑制を実現する開発工具

以上の結果から，湿式加工において発生する工具表面への骨の切りくずの付着を防止することにより，加工中の発熱を抑制することができると考えられた．そこで工具表面への骨の付着防止と発熱の抑制を目的に工具表面の親水化を検討することとした．

工具表面の親水化の方法として，まず工具への SiO_2 コーティングを行った．コーティングはウエットコーティング（膜厚 $0.5\ \mu\text{m}$ ）で行い，コーティング前後での砥粒突出し等の変化はなかった．この SiO_2 コーテッド工具（ SiO_2 coated tool）を用い，湿式加工実験を行った．結果を図4に示す．同図に示すように，市販工具（Conventional tool）と比べて温度や研削トルクが急激に上昇するま

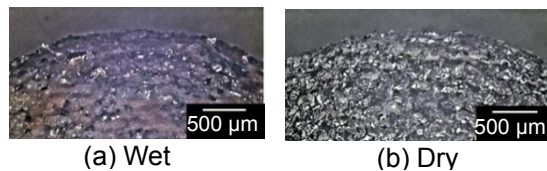
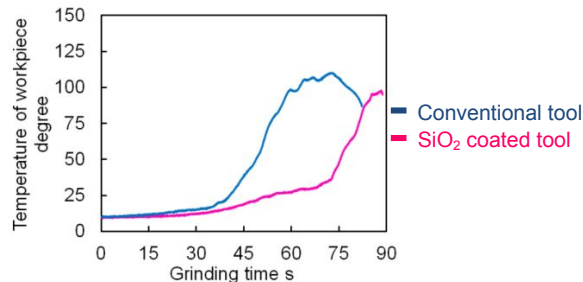
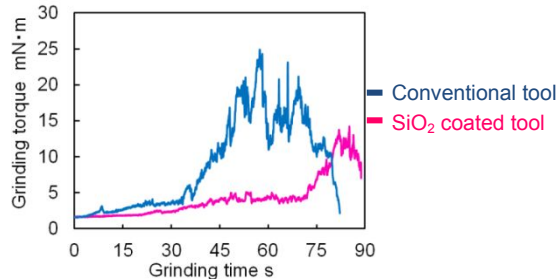


Fig. 3 Surface of conventional wheel after grinding



(a) Temperature of workpiece



(b) Grinding torque

Fig. 4 Grinding characteristics of SiO_2 coated tool



Fig. 5 Surface of SiO_2 coated tool after grinding

でに要する研削時間は長くなっているものの，加工後の工具を観察すると図5に示すように市販工具と同程度の切りくずの付着が発生しており，その効果は不十分であった．

そこで，親水性の向上のため，アナターゼ TiO_2 （テイカ製 TITANIX JA-1）を工具表面に電気めっき法で共析した工具を作製した．ここで作製した工具表面の親水性を接触角法で評価したところ，親水性の向上があまり見られなかった．これは共析した工具表面の凹凸が大きく，その凹部に液体が入り込めないため，撥水性が高まったためと考えられた．そこで共析法を改良し，極微細凹凸からなる TiO_2 共析工具を開発した．この開発工具（ TiO_2 plated tool）を用いて湿式，乾式加工実験を行った．結果を図6に示す．この結果より，

開発工具は湿式加工において温度、研削トルクともに常時小さな値を示しており、市販工具を用いた場合に生じる突発的な温度、研削トルクの上昇を抑制できていることがわかる。また乾式加工においてはほとんど市販工具の結果と変わらないことから、開発工具の効果は砥粒の突出し高さや結合材の摩擦係数等の変化によるものではなく、工具表面の親水化による切りくずの付着防止によるものであると考えられる。さらに、図7は加工後の工具表面を観察した結果であるが、開発工具では市販工具を用いた湿式加工の際に発生していた工具表面への切りくずの付着が大きく抑制されており、乾式加工時には市販工具と同程度となっている。以上の結果から、工具表面への切りくずの付着を防止することで、加工中、つまり手術中に生じる発熱を著しく抑制できることが明らかになった。

4. 研究成果

脊椎外科手術における骨研削時の発熱による周辺神経への侵襲の抑制を目的に、骨の加工特性に関する検討を行った。その結果、湿潤状態における骨の加工特性が工具表面への切りくずの付着に大きな影響を与えることを明らかにした。

そしてその加工特性に着目し、工具表面への切りくずの付着防止を目的に、親水性を有するアナターゼ TiO_2 を工具表面に極微細凹凸になるように共析させた工具を開発した結果、骨の研削加工における工具表面への切りくずの付着の防止とそれともなう発熱の抑制を実現することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

・重田浩典, 榎本俊之, 杉原達哉: 湿潤状態における骨の特性に着目した骨切除用ダイヤモンド砥粒工具の開発, 2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2014) 649-650.

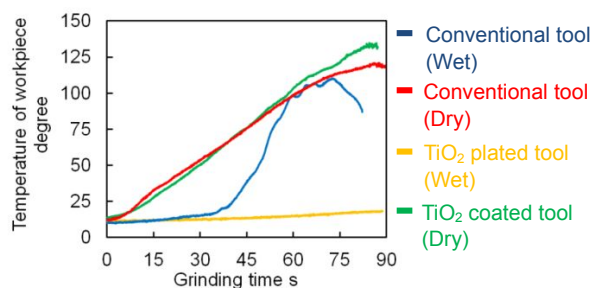
6. 研究組織

(1) 研究代表者

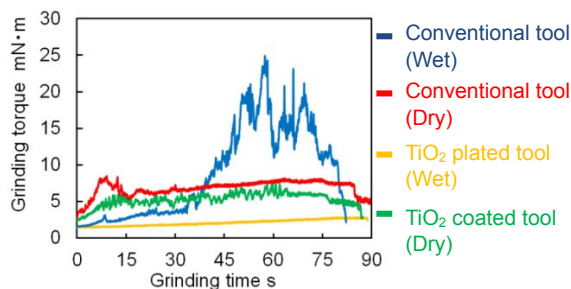
榎本 俊之 (ENOMOTO TOSHIYUKI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 20403149

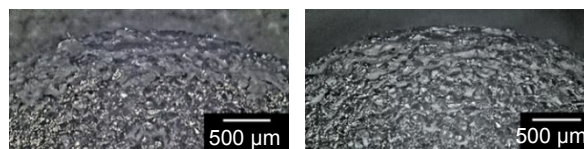


(a) Temperature of workpiece



(b) Grinding torque

Fig. 6 Grinding characteristics of TiO_2 plated tool



(a) Wet

(b) Dry

Fig. 7 Surface of TiO_2 plated tool after grinding