寛骨臼回転骨切り術支援のための球状骨切りデバイス

A spherical bone cutting device for Rotational Acetabular Osteotomy

○学 鄭 常賢（東京大） 正 小林 英津子（東京大）
矢野 英雄（富士温泉病院） 正 佐久間 一郎（東京大）

Sanghyun JOUNG, The University of Tokyo, shjyoung@miki.pe.u-tokyo.ac.jp

Etsuko KOBAYASHI, The University of Tokyo

Hideo YANO, Fuji Onsen Hospital

Ichiro SAKUMA, The University of Tokyo

We have developed a bone cutting device to conduct precise spherical bone cutting, which is necessary procedure in Rotational Acetabular Osteotomy(RAO). In this study, we conducted a spherical bone cutting on two porcine pelvises and evaluated its clinical usefulness from resultants. Maximum temperature with water-irrigation of 10ml/min fluid was lower than 40 degrees which is enough to avoid heat-induced necrosis during the cutting procedure. The resected width, 2-2.2mm, is also suitable for the bone regeneration. And we showed that intended cutting was performed by measuring 3-dimensional surface position of the cut porcine pelvises. We will apply the navigation systems to conduct more precise bone cutting as the next stage and we are sure it will be able to assist RAO in the near future.

Key Words: bone cutting, osteotomy, surgical device, water irrigation, regrowth of bone

1. 序論

寛骨臼回転骨切り術.....の寛骨臼が球状で切削できる位置に固定し、湾曲刃の振動数は5100[回/分]、切削速度は0.05[mm/sec]に設定して球状骨切りを行った。骨切りのときは球面ガイドに10[ml/min]の水を流すことで冷却を行い、先端に付着した薄方サーミスタを用いて切削中の温度変化を記録した。

.....変形性股関節症に対する手術治療方法の一つであり、狭くなった股関節を再形成するために、寛骨臼を球面状に切り取り、切り取った寛骨臼を外方に回転して固定する術式で、自分の関節を生かしたまま股関節を再形成できる優れた治療方法である。しかし、寛骨臼を球状で切り取には非常に熟練した技術が必要であり、.....が実現出来る術者は数少ない。そこで、本研究室では簡単な方法で正確な球状の骨切りが可能な骨切りデバイスを開発してきた.....本研究では、豚の骨盤をサンプルとして開発した骨切りデバイスを用い、寛骨臼を球面状で切り抜く実験を行った。温度上昇と切削隙間の間隔を計測し安全性を検討し、切削した表面の形状を計測することで骨切りの正確性を検証した。..

・・ 骨切りデバイス・・

図・・は球状骨切りデバイスの概観を示す。半径.....を持つ球面状のガイドには先端に湾曲刃が付いており、湾曲刃の振動により球状の骨切りが可能である。往復振動発生装置はモータからの円運動を往復運動に変換させ、湾曲刃を振動させる。ガイドの中心を元に骨切りデバイスを回転しながら、骨切りを行うことにより、正確な球状骨切りができる。.....

・・ 豚寛骨臼の球状骨切り・・

骨切りを行う骨盤サンプルとしては、屠殺された豚から摘出した二つの骨盤を使用した。サンプルはそのままでは固定しにくいので、木の枠で一次的な固定を行い、サンプルを枠と共に実験装置に固定した。骨切りデバイスを骨盤サンプル

骨きりが計画通り正確に行っているかを検証するために、骨切り後は、切り幅と切削した寛骨臼の表面形状を計測した。寛骨臼の表面の形状を計測するため、光学式トラッキング計測システム(Polaris®, Northern Digital Inc, Canada)を使用した。切削した表面の任意の100点を計測し、三次元の位置を元に、切削された表面の半径誤差を計算した。計測した100点を任意の半径と中心を持つ球で補間する方法は、計測した100点が占める面積が補間する球の面積に対して比較的に狭いことと光学式トラッキング計測システムの計測誤差が大きいため、正しく補間できない可能性がある。そこで、本研究では式(1)で表せる任意の中心を持つ半径70mmの球と計測点との二乗距離の和(E)が小さくなる球を求め、球と計測点との各距離を誤差として切削された骨の表面形状を検証する方法を使用した。

$$E = \sum_{i=1}^N (\sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2} - R)^2 \quad (1)$$

N : Number of the measured points, R : 70mm

x_i, y_i, z_i : Position of measured point

x_c, y_c, z_c : Center position of the 70mm radius sphere

4. 結果

二つの骨盤サンプルに対して、両方ともに約 30 分で寛骨臼を切る取ることが可能であった。図 2 は切削したサンプル中の一つである。切削された寛骨臼側の面を外側、骨盤側の面を内側と呼ぶ。切削後の内側と外側との間隔が切り幅であり、両サンプルどちらも 2~2.2mm の範囲であった。切削中の温度はガイドに水を流す冷却により、最大温度を 40 度以下にすることが可能であった。

式 (1) を用いて計算した距離の誤差を図 3 に表す。図 3 の (a) (b) はそれぞれサンプル 1 とサンプル 2 に対応しており、縦軸は計測した 100 点の順番であり、横軸は各計測点と半径 70mm の球との距離の誤差を示す。赤と青の点はそれぞれ内側と外側の誤差を表す。誤差は最大値でも 9mm 以下であり、ほとんどの場合 2mm 以内である。それぞれの平均誤差は表 1 に示す。

5. 考察と結論

従来の RAO では寛骨臼を切り取るのに約 1 時間が必要である。本研究では人の骨盤とは形が異なる豚の骨盤に対する骨切り実験を行った。そのため、骨切りに必要であった時間をそのまま比較対象にすることは出来ないが、両サンプルの寛骨臼を切り取るのに約 30 分かかり、豚に比べ多少大きめの人の骨盤に対しても 1 時間以内の切削が可能であると考えられる。骨切りときの温度は水を流す冷却により最大 40℃であり、この温度は ERIKSSON らが骨の再生を妨害すると報告した条件の温度より低く、温度変化の範囲は安全であることを確認した[2]。切り幅に関しては外科医の意見では 5mm 以下である必要があるとのことである。実験の結果から骨切りデバイスで作られた切り幅も要求を満たすことが分かる。表面の形状の計測した結果からは計画した半径 70mm の球状で骨切りが行っていることを確認できる。

本研究では、骨切りデバイスを用いて豚の寛骨臼を切り取る実験を行い、安全な条件で比較的正確な切削が出来たことを確認した。図 2 では靱帯が切れていることが見られる。これは手術ナビゲーションを使用せずに行ったため、デバイスの設置位置が適切でなかったことが原因である。今後は手術ナビゲーションと総合して、球状骨切りを行う予定である。

本研究の一部は、独立行政法人医薬基盤研究所の「健康医療分野における基盤研究推進事業」によって、日立製作所との共同で行われた。

文 献

- [1] 鄭常賢他, “振動型骨切デバイスを用いた寛骨臼回転骨切り支援システム”, 第 14 回日本コンピュータ外科学会大会, 2005.
- [2] R. A. ERIKSSON and T. ALBREKTSSON, “The Effect of Heat on Bone Regeneration: An Experimental Study in the Rabbit Using the Bone Growth Chamber”, J Oral Maxillofac Surg, vol. 42, pp.705-711, 1984.

Fig. 1 A spherical bone cutting device; ①motor ②reciprocating saw attachment ③spherical guide ④curved saw

Fig. 2 the cut acetabulum and pelvis

(a) sample 1

(b) sample 2

Fig. 3 distance error between the 70mm radius sphere and the measured points [unit:mm]

Table 1 An average error of figure 3 [unit:mm]

Sample 1		Sample 2	
Inner	Outer	inner	Outer
1.435	1.050	1.008	1.292