

· 实验研究 ·

不同钻速下电钻钻孔骨质产热的比较^{*}柯 嘉 朱云峰^① 李 倩 胡 磊^① 马芙蓉^{**}

(北京大学第三医院耳鼻咽喉头颈外科, 北京 100191)

【摘要】 目的 比较采用不同钻速进行电钻钻孔操作时,骨质局部温度的变化,获取在微创隧道人工耳蜗植入手术中电钻钻孔操作的安全参数。 方法 采用外形近似的新鲜猪肋骨块,在两块骨块的截面依次安放 3 枚热敏电阻(Pt100)并固定,分别于皮质骨表面,距离横截面 1.5 mm 处进行钻孔操作。按照钻速由低至高,人为分为 100、1250、7000、10 000、20 000、30 000 和 40 000 r/min,每个钻速重复实验 6 次,记录钻孔时的温度变化。比较不同钻速钻孔时骨质升温的差异。 结果 采用 100 r/min 钻孔时,钻孔局部骨质的平均升温(3.81 ± 1.47)℃,采用 1250 r/min 钻孔时,骨质平均升温(11.57 ± 4.32)℃,两者间差异无显著性($P=0.130$);在钻速为 7000 r/min 钻孔时,骨质升温(18.01 ± 3.62)℃,与 10 000 r/min 钻速组的(43.09 ± 10.05)℃比较,两者差异有统计学意义($P=0.000$);当转速高于 10 000 r/min 时,提高转速后局部骨质升温的变化无显著性差异。 结论 在本研究条件下,使用低钻速 100 r/min 和 1250 r/min 进行钻孔操作时,骨质局部升温较小,当钻孔局部要求的温度不能过高时,应选择低钻速进行操作。

【关键词】 钻孔; 产热; 钻速; 温度

中图分类号:R608

文献标识:A

文章编号:1009-6604(2015)11-1045-04

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2015.11.025

Comparison of Heat Generation During Bone Drilling Using Different Drill Speeds Ke Jia^{*}, Zhu Yunfeng, Li Qian^{*}, et al.^{*} Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China

Corresponding author: Ma Furong, E-mail: furongma@126.com

【Abstract】 Objective To compare changes in bone temperature during the drilling using different drill speeds and to get the safe parameters of drilling operation in minimal invasive cochlear implant. Methods Fresh pig ribs bone samples with similar shape were used in this study. Three thermistors (Pt100) were fixed in the transverse section of the bones. There were seven drilling speeds groups which included 100, 1250, 7000, 10 000, 20 000, 30 000 and 40 000 r/min. Drilling were used to create holes at the location 1.5 mm from the thermistors with different speeds. Changes in temperature were recorded. Results The mean temperature raise when drilling in 100 r/min was (3.81 ± 1.47)℃ and in 1250 r/min was (11.57 ± 4.32)℃, without statistical difference ($P=0.130$). The mean temperature raise when drilling in 7000 r/min was (18.01 ± 3.62)℃ and in 10 000 r/min was (43.09 ± 10.05)℃, with statistically difference ($P=0.000$). There were no significant differences in temperature raise when the drilling speeds were higher than 10 000 r/min. Conclusions Within the limitations of this study, drilling bones in 100 r/min and 1250 r/min generates less heat. When the local temperature be limited, low speed drilling should be used in drilling the bone.

【Key Words】 Drill; Heat generation; Drill speed; Temperature

电钻钻孔操作广泛应用于神经外科开颅、骨科植入体固定及口腔颌面外科牙体预备及植入体的固定中。根据钻孔作用不同,大致可分为高速钻孔与低速钻孔两种类型^[1];前者主要应用于单纯钻孔,最常见的是在坚硬的骨质上钻出一条可以后续植入钛钉所需的隧道,因此要求以较高的钻速,通常在 20 000 r/min 以上,短距离快速地钻孔;而低速钻

孔主要用于牙体预备^[2]或骨锚式助听器的安放^[3],其转速需控制在几十到几千的范围内,避免局部产热过高引起骨坏死,影响后期骨组织与植入体的融合。电钻钻孔操作在耳科手术中的应用较少,随着微创手术观念的逐渐发展,经皮隧道人工耳蜗植入手术已经进入实验阶段。针对乳突区钻孔操作具有钻孔孔径细长、冲水困难、散热差的特点,为避免钻

^{*} 基金项目:首都卫生发展科研专项项目(2011-4023-03);2011 北京大学第三医院临床学科重点项目^{**} 通讯作者, E-mail: furongma@126.com^① (北京航空航天大学机器人研究所,北京 100191)

孔中产生过高热量损伤面神经,本研究利用新鲜猪肋骨块模拟乳突区骨质特点,进行一系列体外实验,以期获得不同钻速下钻孔操作对骨质产热的影响,为下一步手术操作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

使用厚 10 mm、长 8 mm 外形接近的新鲜猪肋骨,含有上方皮质骨、松质骨及下方皮质骨全层,以模拟乳突皮质骨、乳突气房及面隐窝外侧致密骨质特点。

1.2 仪器和设备

1.2.1 温度测量装置 采用 Pt100 M222A 20NiPt10(-70 ~ 500 ℃, Heraeus Sensor Technology, 德国)热敏电阻 4 枚,大小 2 mm × 2 mm,其中 3 枚分别置于骨块横截面上方皮质骨与松质骨交界处,松质骨中央及下方的皮质骨与松质骨交界处,1 枚置于室温中,见图 1。热敏电阻阻值改变带来的采集电路电信号的改变,经放大、电压转换、滤波、电阻转换后,输出对应的温度。

1.2.2 电钻打孔装置 使用自行改装设计的电钻打孔平台(图 2),有骨块固定装置和电钻推进装置,电钻以匀速 0.2 mm/s 平行推进。电钻为瑞士产 NOUVAG TCM 3000BL 手术电钻,转速 0 ~ 40 000 r/min,32:1 减速比手机(NV 5054),转速 0 ~ 1250 r/min。实验用钻针为直径 1.8 mm 麻花形钻针。

1.3 研究方法

连接实验装置,固定电钻打孔平台。在肋骨标本中如图 1 所示,在两块骨块的横截面上依次安放 3 枚热敏电阻,将含有热敏电阻的标本固定于骨块固定装置上。分别于皮质骨表面,横截面两侧的两块骨块上,游标卡尺(精度 0.1 mm)测量距横截面外侧 1.5 mm 处标记为进口。钻孔时人为将转速按照由低到高分为 7 个组,分别是 100、1250、7000、10 000、20 000、30 000 和 40 000 r/min。每个钻速重复实验 6 次,共计 42 次。一次固定热敏电阻可进

行两次钻孔操作,每次钻孔后需待骨块的温度降至室温再进行下一次钻孔。两次钻孔后更换骨块并重新固定热敏电阻,进行下一次钻孔操作。钻孔 6 次后需更换新的钻头。钻孔时电钻推进速度为 0.2 mm/s,钻孔无外界冲水,在钻孔同时得出同步的温度-时间输出曲线。钻孔后记录电钻出口位置,出口中央距横截面的垂直距离在 1.0 ~ 2.0 mm 记为有效钻孔数据。

1.4 统计学分析

采用 SPSS18.0 统计学软件,实验数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,进行单因素方差分析,对上述结果进行 Post-Hoc 事后分析,采用 LSD 进行 7 个钻速的组间两两比较,以 $P < 0.05$ 作为差异有统计学意义。

2 结果

不同钻速钻孔时骨质温度变化结果见表 1、2 和图 3。100 和 1250 r/min 钻速钻孔时骨质升温差异无显著性($P = 0.130$);1250 r/min 较 7000 r/min 钻孔升温差异无显著性($P = 0.207$);7000 r/min 钻孔时骨质升温明显低于 10 000 r/min($P = 0.000$)。而当钻速高于 10 000 r/min 时,采用 10 000、20 000、30 000 和 40 000 r/min 钻孔操作时,钻孔后局部骨质最高温度可达(75.71 ± 8.65)℃,局部升温最高(45.73 ± 8.70)℃,上述四组钻孔温度升高的两两比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 不同钻速下钻孔后骨质最高温度及升温情况($\bar{x} \pm s, n = 6, ^\circ\text{C}$)

钻速(r/min)	起始温度	最高温度	升高温度(ΔT)
100	29.02 ± 0.38	32.83 ± 1.49	3.81 ± 1.47
1250	28.31 ± 0.50	39.88 ± 4.62	11.57 ± 4.32
7000	29.90 ± 1.81	47.92 ± 5.16	18.01 ± 3.62
10 000	29.88 ± 2.25	72.98 ± 10.77	43.09 ± 10.05
20 000	29.49 ± 0.44	70.20 ± 8.05	40.71 ± 8.38
30 000	29.99 ± 0.44	75.71 ± 8.65	45.73 ± 8.70
40 000	30.35 ± 0.38	72.09 ± 15.71	41.74 ± 15.69
F 值	2.173	24.628	24.395
P 值	0.069	0.000	0.000

表 2 不同钻速下钻孔后骨质升高温度(ΔT)的两两比较 P 值

钻速(r/min)	100	1250	7000	10 000	20 000	30 000
100	—	—	—	—	—	—
1250	0.130	—	—	—	—	—
7000	0.008	0.207	—	—	—	—
10 000	0.000	0.000	0.000	—	—	—
20 000	0.000	0.000	0.000	0.637	—	—
30 000	0.000	0.000	0.000	0.603	0.324	—
40 000	0.000	0.000	0.000	0.788	0.839	0.432

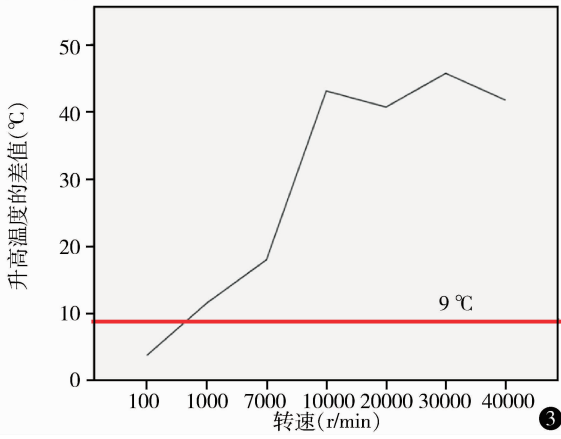
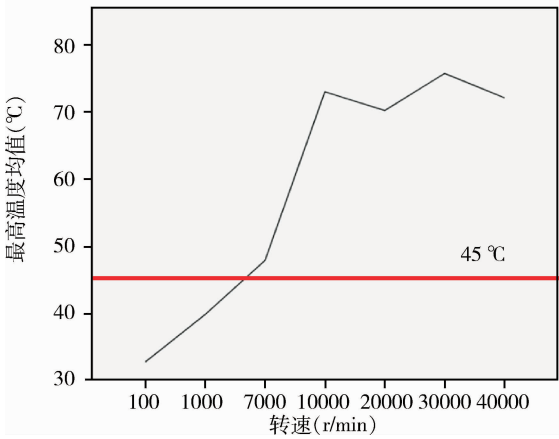
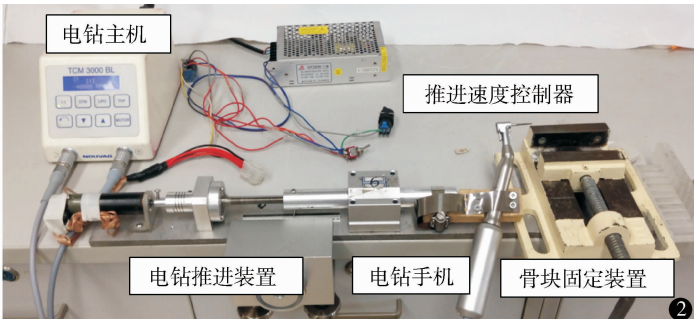
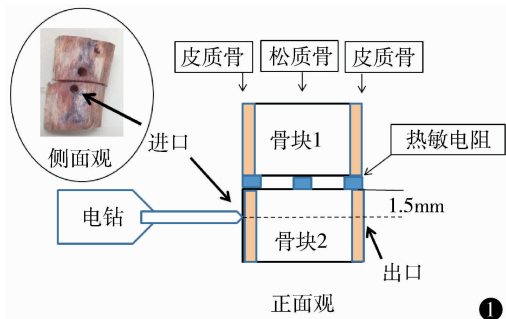


图 1 热敏电阻位置及钻孔示意图 图 2 电钻钻孔平台 图 3 不同钻速下钻孔骨质的最高温度和升高温度差值

3 讨论

在耳科手术中,较少利用电钻进行钻孔操作。随着技术的进步以及高科技的医疗辅助设备的广泛应用,外科手术正向着微创的方向发展。医学影像导航及机器人辅助操作,使得经皮打开一条直通耳蜗基底转的“隧道”成为可能^[4-6]。本研究为经皮微创隧道人工耳蜗植入手术中钻孔的初步探索。既往的研究多以 47℃ 作为骨细胞坏死的临界温度^[7,8],尽管在这一操作中不需考虑温度所致的骨坏死,但由于隧道毗邻面神经,因此需考虑钻孔产热对面神经的损伤。

随着电钻的广泛使用,人们很早就发现电钻产热对于神经的影响,从而导致一系列术中并发症。在脑外科手术中,电钻操作产生的热传导可引起视神经损伤^[9];在耳科手术中,因电钻产热而出现面瘫的情况也非常常见^[10]。在既往的文献中,部分学者以面神经温度在 45℃ 以内或是面神经温度升高 9℃,不超过 2 min,作为面神经能耐受温度的安全界限^[11],如温度高于此范围,面神经轴索纤维周围出现水肿,髓鞘变薄,轴突中神经元型一氧化氮合酶(nNOS)的数量及分布减少,这些均提示神经发生炎症反应,从一定程度上引起神经传导性下降^[12]。

电钻钻孔时产生的热量,受到多种因素的影响。既往有大量文献对于电钻钻头的材质^[13]、钻头的类

型^[1,14]、钻头齿槽的数目^[15]、钻速的高低^[2,16]、进给速度的快慢^[16]、冲水有无及冲水速率^[17]等进行了系统的研究。由于骨质形态的复杂性,各个参数都不是单独影响温度及钻孔的效率的,应该综合考虑,因此对不同的文献的结果要综合分析^[1]。我们之前的实验^[18]证实,在使用肋骨块模拟乳突区骨质进行钻孔操作时,使用麻花型钻头较常规切削钻头产热量明显偏低,但使用 10 000 r/min 以上的高钻速进行钻孔操作时,即使是使用麻花钻头,其产生的骨质升温仍可达 30℃ 以上,不能保证手术安全。结合本实验结果,我们认为当电钻的钻速高于一定范围时,进一步提高钻速对局部骨质温度的变化没有显著性影响。

根据手术电钻钻速和扭力的不同,现有的手术电钻分为两种:一种为高钻速钻,即常见的耳科手术电钻,钻速通常在 20 000 r/min 以上,最高可达 80 000 r/min。这种电钻以高钻速低扭力为主要特点,通过高速旋转的钻头达到切割骨质的目的,操作时需冲水降温并及时排除骨屑。另一种为低钻速钻,主要用于牙体预备或种植体安放,借助减速比手机,在降低钻速的同时提高扭力,钻速可达 20 r/min 甚至更低。这种电钻以低钻速高扭力为主要特点,通过较高的扭力将植入体旋入骨质中。由于钻速低,局部产热也低,避免操作过程中产热对骨细胞的影响^[15],有利于骨细胞与植入体的融合。

为了进一步获得安全合理的升温范围,本实验进行了不同钻速组的电钻钻孔实验。不同钻速下钻孔骨质升温与局部最高温度情况见图 3,采用低钻速钻孔时,局部升温较低,随着钻速的升高,骨质局部升温增高。当钻速高于 10 000 r/min 后,局部升温随着钻速的升高,变化趋于平缓。采用 1250 r/min 钻速下钻孔平均温度升高 11.57 ℃,明显低于 10 000 r/min 钻速下的 43.09 ℃。且钻孔后局部骨质的最高温度在 $(39.88 \pm 4.62)^\circ\text{C}$, 低于面神经 45 ℃ 的安全耐受界限。在保持同样推进速度的情况下,当钻速进一步降低至 100 r/min 时,局部骨质的升温仅为 3.81 ℃,也远远低于面神经局部温度升高低于 9 ℃ 的安全界限。Kim 等^[2]在 50 r/min 的钻速下进行钻孔实验,局部温度升高的范围仅在 1.57 ~ 2.46 ℃ 之间。因此,为保证微创隧道人工耳蜗植入手术中面神经的安全性,最好选择较低的钻速如 100 r/min 进行操作。

Call 等^[10]观察到在距离电钻 0.5 mm 的区域内其温度可高达 140 ℃,在常规的耳科手术操作中,由于电钻磨削的操作是在开放的环境中进行的,有助于热量及时释放;同时,操作过程中持续冲水降温,能够及时带走热量,避免局部温度升高。但在经皮隧道人工耳蜗植入手术中,电钻的钻孔路径需通过面隐窝,毗邻垂直直面神经的距离有时不到 1 mm,加之钻孔隧道深,孔径小,为热量的散发和冲水降温带来了一定的困难,极易造成热量蓄积,导致局部温度骤升,因此,常规钻孔操作必然会损伤面神经功能。结合本实验的结果及微创隧道人工耳蜗手术钻孔的特殊性,建议在操作中采用以下方法来减少温度所致的面神经的损伤:①使用低钻速电钻来钻孔,特别是采用 100 r/min 的钻速操作,在钻孔长度 10 mm 左右的距离下,温度升高仅有 3.81 ℃,在不给予外界冲水的情况下,其产生的热量对面神经的影响也在安全范围内;②即使这样,仍然推荐在钻孔过程中给予持续外部冲水,进一步减少钻孔过程中产生的热量,降低局部温度;③钻孔过程可采用间断钻孔的方式,即电钻推进一段后停止转动,待局部温度降低后再次推进。

参考文献

- Augustin G, Zigman T, Davila S, et al. Cortical bone drilling and thermal osteonecrosis. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2012, 27(4): 313 – 325.
- Kim SJ, Yoo J, Kim YS, et al. Temperature change in pig rib bone

- during implant site preparation by low-speed drilling. J Appl Oral Sci, 2010, 18(5): 522 – 527.
- Arnold A, Caversaccio MD, Mudry A. Surgery for the bone-anchored hearing aid. Adv Otorhinolaryngol, 2011, 71: 47 – 55.
- Labadie RF, Noble JH, Dawant BM, et al. Clinical validation of percutaneous cochlear implant surgery: initial report. Laryngoscope, 2008, 118(6): 1031 – 1039.
- Balachandran R, Mitchell JE, Blachon G, et al. Percutaneous cochlear implant drilling via customized frames: an in vitro study. Otolaryngol Head Neck Surg, 2010, 142(3): 421 – 426.
- Bell B, Stieger C, Gerber N, et al. A self-developed and constructed robot for minimally invasive cochlear implantation. Acta Otolaryngol, 2012, 132(4): 355 – 360.
- Eriksson A, Albrektsson T, Grane B, et al. Thermal injury to bone. A vital-microscopic description of heat effects. Int J Oral Surg, 1982, 11(2): 115 – 121.
- Eriksson RA, Adell R. Temperatures during drilling for the placement of implants using the osseointegration technique. J Oral Maxillofac Surg, 1986, 44(1): 4 – 7.
- Shaw ML, Kelley B, Camarata P, et al. Collateral damage: heat transfer as a possible mechanism of optic nerve injury during neurosurgical intervention. Ophthalm Plast Reconstr Surg, 2012, 28(5): 328 – 330.
- Call WH. Thermal injury from mastoid bone burs. Ann Otol, 1978, 87: 43 – 49.
- 魏新邦. 乳突手术时的电钻热损伤. 国外医学·耳鼻咽喉科学分册, 1981, (5): 380 – 381.
- Keim RJ, Erdreich J, Love TJ. Thermal hazards in mastoid surgery: an evaluation of instruments and irrigation techniques. Otolaryngol Head Neck Surg, 1979, 87(4): 472 – 478.
- Aslan A, Vatansever HS, Aslan GG, et al. Effect of thermal energy produced by drilling on the facial nerve: histopathologic evaluation in guinea pigs. J Laryngol Otol, 2005, 119(8): 600 – 605.
- Sumer M, Misir AF, Telcioglu NT, et al. Comparison of heat generation during implant drilling using stainless steel and ceramic drills. J Oral Maxillofac Surg, 2011, 69(5): 1350 – 1354.
- Bertollo N, Milne HR, Ellis LP, et al. A comparison of the thermal properties of 2- and 3-fluted drills and the effects on bone cell viability and screw pull-out strength in an ovine model. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2010, 25(6): 613 – 617.
- Davidson SR, James DF. Drilling in bone: modeling heat generation and temperature distribution. J Biomech Eng, 2003, 125(3): 305 – 314.
- Benington IC, Biagioni PA, Briggs J, et al. Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation. Clin Oral Implants Res, 2002, 13(3): 293 – 297.
- 柯嘉, 马芙蓉, 朱云峰, 等. 耳科手术电钻钻孔对骨质产热影响的实验研究. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2013, 20(9): 475 – 479.

(收稿日期: 2015 – 05 – 14)

(修回日期: 2015 – 08 – 14)

(责任编辑: 王惠群)