

植入角度对微种植体稳定性的影响

吴也可^{1*} 赵立星² 郜然然¹

(1. 成都中医药大学附属医院口腔科 四川 成都 610072;

2. 四川大学华西口腔医学院 四川 成都 610041)

[摘要] 目的:研究植入角度对应力加载下植入比格犬下颌骨的钛微种植体稳定性的影响。方法:将 48 枚微种植体以 4 种不同角度(30°、50°、70°和 90°)植入 12 只 Beagle 犬下颌第一磨牙和第三前磨牙根间区域,并即刻加载 2 N 应力,持续 8 周。采用显微 CT 和生物力学拉拔测试研究种植体-骨界面骨整合情况。结果:所有微种植体显微 CT 检测指标和最大拉拔力值(F_{\max})均受不同植入角度影响。在 50°和 70°组观测到微种植体具有更高显微 CT 参数和 F_{\max} ($P < 0.05$),而过度倾斜或垂直均可导致稳定性下降($P < 0.05$)。结论:相较过度倾斜或垂直,50°~70°的植入角度更有利于微种植体获得稳定性。

[关键词] 植入角度 骨整合 微种植体 显微 CT 生物力学

[文献标识码] A **[文章编号]** 1671—7651(2019)02—0172—04

[doi] 10.13701/j.cnki.kqxyj.2019.02.017

Effect of Insertion Angle on Stability of Loaded Titanium Microscrews. WU Ye-ke^{1*}, ZHAO Li-xing², GAO Ran-ran¹. 1. Department of Stomatology, Hospital of Chengdu University of TCM, Chengdu 610072, China; 2. West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China.

[Abstract] **Objective:** To evaluate the effect of insertion angle on stability of loaded titanium microscrews in beagle jaws. **Methods:** 48 microscrews were inserted at four different angles (30°, 50°, 70°, and 90°) into intraradicular zones of the mandibular first molars and third premolars of 12 beagles and immediately loaded with 2 N for 8 weeks. Microcomputed tomography (micro-CT) and biomechanical pull-out tests were used to assess osseointegration of the interface. **Results:** All micro-CT parameters and maximum pull-out force (F_{\max}) of the microscrews were affected by insertion angles of microscrews. Higher micro-CT parameters and F_{\max} were seen for implants inserted at angles between 50° and 70° ($P < 0.05$). Excessive oblique and vertical insertion angles resulted in reduced stability ($P < 0.05$). **Conclusion:** An insertion angle of 50° to 70° is more favorable than excessive oblique or vertical angles to achieve stability of microscrews.

[Key words] Insertion angle Osseointegration Microscrews Microcomputed tomography Biomechanics

Branemark 在 20 世纪 60 年代观察到骨与钛种植体间的直接接触,并引入骨整合的概念^[1]。从那时起,大量研究致力于探讨钛种植体在牙科领域的应用。与传统种植体相比,微种植体(直径 1.0~1.2 mm,长 6 mm 左右)具有体积小、手术操作简单、能行即刻或早期加载、病人依从性要求低等优点。如今,微种植体在正畸和颌领域被广泛用于为牙移动提供最大支抗。然而,在临床应用中它们容易

松动甚至脱落。因此,微种植体的稳定性成为研究的热点。微种植体骨整合的建立不仅取决于种植体自身,也由手术术式、加载前愈合时间以及加载周期、强度、方向等因素决定^[2,3]。然而,罕见有关加载应力方向的实验报道。

Park 等^[4]曾提出种植体应当倾斜而非垂直植入以防止牙根吸收等不良事件的发生。后来在人工骨、兔鼻骨、猪髌骨等不同动物实验模型也多次证实轻度倾斜的植入角度能获得更好的骨-种植体间骨整合,从而改善初期稳定性^[5]。最近有研究报道将植入角度由 90°变为 45°增加了 47% 人皮质骨-种植体接触,显著增加了种植体的稳定性^[6]。在犬下颌骨,也有研究提示以与骨表面小于 90°角度植入种植体可降低与牙根接触的可能性^[7]。相反,大多

基金项目 国家自然科学基金(编号:81500818、81574035)

作者简介 吴也可(1987~),男,成都人,主治医师,博士,主要从事口腔正畸学临床及基础研究,以及中医药防治牙周病的研究。

* 通讯作者 吴也可, E-mail: 337872366@qq.com

数体外实验将微种植体垂直植入人工骨表面^[8]。另外,本课题组曾报道在比格犬胫骨模型中,不同的植入角度会影响微种植体的稳定性^[9]。但是,胫骨在骨密度、皮质骨厚度、松质骨-皮质骨比例等特性上都明显不同于颌骨。此,很有必要在颌骨中系统研究植入角度对微种植体稳定性的真实作用。

本研究旨在通过显微 CT 和拉拔试验,探讨植入角度对应力加载下微种植体稳定性的影响。

1 材料与方法

1.1 动物分组及微种植体植入 选用健康、雄性 Beagle 犬(24 月龄,体质量约 12.5 kg)12 只,由成都中医药大学实验动物中心提供。本研究所有动物实验均经过成都中医药大学实验动物伦理委员会批准。根据不同微种植体植入角度($\alpha = 30^\circ$ 、 50° 、 70° 和 90°) 将 12 只 Beagle 犬随机分为 4 组,每组 3 只,每只比格犬植入 4 个微种植体(图 1)。所有手术均在 1 mg/kg 氯胺酮和 2 mg/kg 甲苯噻嗪(华北制药)系统麻醉结合 2%利多卡因复合 1:80 000 肾上腺素局部麻醉后进行。共植入 48 枚微种植体(长度 6 mm,直径 1.6 mm,德国 Medicon 公司)(图 1)。参照 Beagle 犬颌骨微种植体安全植入区域图,选择下颌第一磨牙(M1)及第三前磨牙(P3)根间区域作为微种植体植入区^[10]。钝性分离暴露下颌骨面,引导钻确定位点及角度(图 2a),钻开皮质骨,植入微种植体至肩台与骨面无间隙。下颌骨每侧以角度 α 或 $180^\circ - \alpha$ 植入 2 枚微种植体。术后即刻于每对微种植体间安置镍钛螺旋拉簧,加载 2 N 的力(图 2b)。

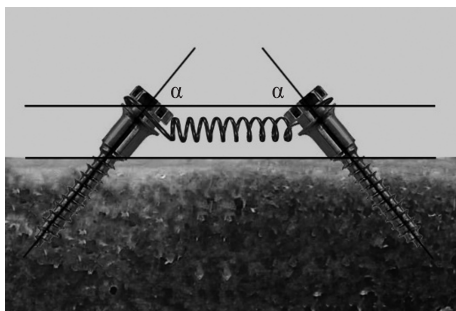
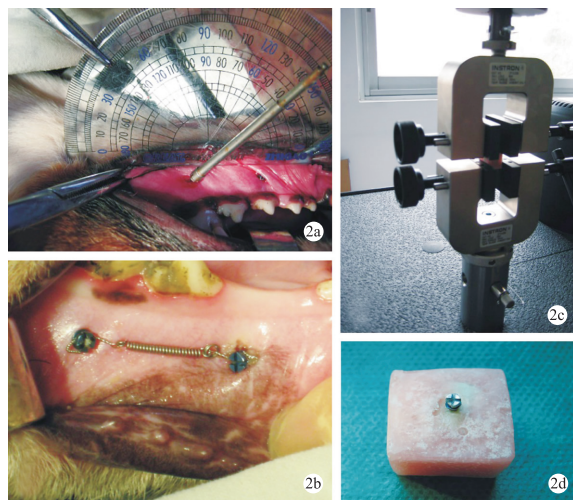


图 1 以不同角度植入的微种植体示意图,α 表示微种植体长轴与骨表面间所成角度

Fig. 1 Diagram of the microscrews inserted at different angles. α indicates the angle between the long axis of the microscrews and the bone surface.

1.2 检测样本制备 加载 8 周后,过量戊巴比妥钠处死动物,取带微种植体下颌骨,用涡轮机将标本修整成组织块,每个组织块包含 1 枚种植钉和其周围至少 5 mm 不含软组织的骨质。所有骨/种植体样

本用 10% 福尔马林溶液 4 °C 固定。



2a: 倾斜(相对骨表面)植入微种植体;2b: 在两个植体间用螺旋弹簧加载 2 N 的应力;2c: 材料测试系统(Instron 5565, Instron 公司,美国);2d: 标本用丙烯酸树脂包埋,用于拉拔试验

图 2 微种植体的植入、应力加载和力学拉拔试验

Fig. 2 Insertion, mechanical loading of the microscrews and pull-out test.

1.3 显微 CT 检测 标本固定 2 周后,近中 5 mm 用于显微 CT(CT80,瑞士 Scanco Medical 公司)检测。扫描电压 70 kV,测量时间 300 ms,电流 114 mA。体素尺寸 1024×1024 像素,通过 1000 次发射获得 CT 扫描断层,空间分辨率 20 μm。用 CT 分析软件(Skyscan)重建断层图像以进一步行定性和定量三维分析。采用多级阈值程序将不同成分区分开。沿种植体长轴方向近、远中 1.0 mm 横截面范围间所有骨小梁室(PIB)均设定为感兴趣区域,并计算以下形态学参数:骨体积密度(骨体积/总体积)(BV/TV)、皮质骨厚度(Tb. Th)、皮质骨数量密度(Tb. N)和相交表面(与骨表面接触的微种植体)(IS)。微种植体的骨整合(OI)由 IS 与骨内微种植体表面积的比值得来。

1.4 力学拉拔试验 每组 6 个骨/种植体样本固定 48 h 后,聚甲基丙烯酸甲酯包埋,万能力学测试仪(Instron 5565,美国 Instron 公司)行力学拉拔测试(图 2c)。暴露微种植体头部,以便测试仪夹具钳夹组织块并牵拉微种植体(图 2d)。拉拔试验中尽量使微种植体长轴与测试仪的轴平行,以避免材料弯曲,只记录轴向拉伸强度。微种植体以 0.05 mm/s 的正交速度被拉出,监测施加应力及拉拔峰值载荷(F_{max})。

1.5 数据分析 采用 SPSS 11.0 对数据进行统计分析。方差分析比较 4 组(30° 、 50° 、 70° 和 90°) 间组

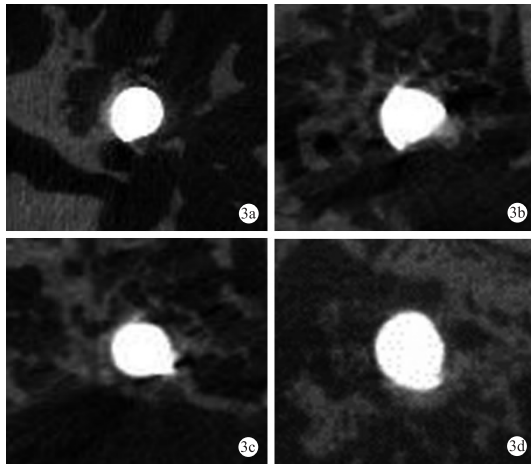
表 1 不同植入角度组的种植体周围骨的测量值

Tab. 1 Measurements of bone around the microscrews inserted at different angles.

角度	OI/%	BV/TV/%	Tb. Th/mm	Tb. N/mm ⁻¹	IS/mm ²	Fmax/N
30°(a)	17.4±1.42 ^{b,c,d}	13.1±1.57 ^{b,c,d}	0.27±0.03 ^{b,c,d}	1.43±0.14 ^{b,c,d}	2.83±0.36 ^{b,c,d}	219±28 ^{b,c,d}
50°(b)	36.8±3.46 ^{a,d}	27.3±2.83 ^{a,d}	0.64±0.07 ^{a,c,d}	2.69±0.32 ^{a,c,d}	5.96±0.64 ^{a,c,d}	342±32 ^{a,d}
70°(c)	39.7±4.23 ^{a,d}	28.1±2.69 ^{a,d}	0.7±0.09 ^{a,b,d}	2.72±0.38 ^{a,d}	6.3±0.69 ^{a,b,d}	350±27 ^{a,d}
90°(d)	29.1±3.79 ^{a,b,c}	20.1±2.45 ^{a,b,c}	0.56±0.06 ^{a,b,c}	2.37±0.26 ^{a,b,c}	4.67±0.59 ^{a,b,c}	321±25 ^{a,b,c}

注:数据以不同植入角度测得值的 $\bar{x} \pm s$ 表示。数据下的字母表示其所在组与字母所代表的组相比较差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)

织形态学和生物力学参数的差异, SNK t 检验行组间两两比较。计算 Spearman 和 Pearson 相关系数以衡量拉拔试验中植入角度、OI 及 F_{\max} 间的关系。设定 $P < 0.05$ 具有统计学意义。



3a:30°组标本;3b:50°组标本;3c:70°组标本;3d:90°组标本

图 3 微种植体周围的松质骨。选取包含本组平均量松质骨体积密度值的代表性标本

Fig. 3 Peri-implant trabecular bone. Representative specimens with median trabecular bone volume density values.

2 结果

各组微种植体植入成功率为 100%, 除 30°组有 1 枚稍松动外, 未见松动脱落。显微 CT 结果显示, 植入角度影响 OI 和 PIB 密度(图 3)。具体而言, 与 30°组相比, 50°、70°和 90°组的 OI 值显著增加 ($P < 0.05$)。50°和 70°组的 OI 又较 90°组更高 ($P < 0.05$)。50°与 70°组相比, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。关于 PIB, 除 50°和 70°组间 BV/TV 指标外, 所有组间各指标比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。关于 Tb. Th, 与 30°组相比, 50°、70°和 90°组分别显示 237%、259%和 207%的增幅 ($P < 0.05$), 见表 1。Tb. N 的情况与 OI 类似, 即 50°和 70°组有更高的值 ($P < 0.05$) (表 1)。与 OI 间关联性最强的形态学指标是 IS, 该参数衡量了骨与种植体间的接触面积。30°组的 IS 值为 2.83 mm^2 , 50°组为 5.96 mm^2 显著高于前者 ($P < 0.05$), 70°组为 6.3 mm^2 , 与 50°组相比差异有统计

学意义 ($P < 0.05$)。但 90°组的 4.67 mm^2 又显著低于 50°和 70°组 ($P < 0.05$), 见表 1。

生物力学检测结果显示, F_{\max} 值在各植入角度组均有所不同。与 30°组相比, 50°、70°和 90°组 F_{\max} 值显著增加 ($P < 0.05$)。50°和 70°组 F_{\max} 值均较 90°组更高 ($P < 0.05$)。50°和 70°组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

相关性试验中所有指标对均表现出有统计学意义 ($P < 0.05$)。OI 和拉拔试验 F_{\max} 均与不同植入角度相关, 但相关系数较低, 分别为 $r = 0.319$ 和 0.334 , 提示具有较弱的相关性。这些数据表明种植体-骨单位随植入角度改变而增加生物机械学强度的程度有限。OI 和 F_{\max} 间相关系数为 0.612 , 表明中等相关性。这些数据提示这些测量指标可能相互关联。

3 讨论

支抗是对不希望发生的牙移动的抵抗, 良好的支抗控制是正畸治疗的关键。近年来, 微种植钉被广泛应用于正畸治疗中提供绝对支抗。加载的应力通过螺旋弹簧或橡皮圈直接作用于种植钉头部。正畸应力与皮质骨表面平行^[4]; 因此, 当微种植体的植入角度发生改变时, 应力加载的方向与微种植体长轴间的角度也相应改变。

临床上, 正畸医生倾向于将微种植体尖端朝向邻近牙根根尖, 但本研究并未采用该方案, 而将尖端朝向近远中向植入。原因有以下几点: (1) 该方案满足我们的研究目标, 减少了实验动物的用量; (2) 更有利于控制应力的加载强度和周期, 防止不均衡的应力分布导致螺旋弹簧变形; (3) 消除了植入位点的选择, 避免咀嚼过程中损伤螺旋弹簧。另外, 为避免损伤邻近牙根, 本文参考前期研究选择下颌 M1 和 P3 根间区域作为植入位点^[10]。

无创性显微 CT 分析让临床医师在同一个样本内对骨和种植体接触界面进行三维分析, 减少了实验动物用量。有报道指出钛种植体的机械稳定性取决于种植体周围骨组织的量^[11]。本研究在 50°和

70°组观察到更高的 OI、BV/TV、Tb. Th、Tb. N 和 IS 等显微 CT 参数值。

作为生物力学研究的一项重要手段,拉拔试验已被广泛应用于骨科、神经外科和颌面外科手术中检测种植体的固位强度。本研究使用的微种植体能有效地将拉拔力转化为剪切力,继而将后者传递至与之接触的骨。本实验结果表明特别倾斜或垂直植入的微种植体 F_{max} 平均值显著低于略微倾斜角度植入的植体。特别垂直组的力学性能优于特别倾斜组。

本文还分析了几个形态学、生物力学参数以及微种植体植入角度间的相关性。结果表明 OI 和拉拔试验的 F_{max} 在一定程度上相互关联,提示二组数据可能存在相关性。

采用组织形态学和生物力学检测手段,发现微种植体的稳定性受不同植入角度影响。轻度倾斜植入有利于微种植体稳定性,而过度倾斜或者垂直植入则不建议。理由有如下几点:(1)虽然轻度倾斜的植入深度较完全垂直者更小,但能与更多皮质骨接触,而皮质骨与松质骨的比例对微种植体稳定性十分重要^[12];(2)轻度倾斜植入的微种植体承受挠曲力较小,有助于产生轴向应力,促进其与骨间形成 OI;(3)由于过度微创伤可能在 OI 过程中减弱微种植体的稳定性,因此过度倾斜可能比适度倾斜造成更严重的皮质骨微创伤,导致稳定性降低^[13];(4)过度倾斜的植入深度亦严重降低。

综上,为了更好的负荷正畸应力加载,确保微种植体充分的骨整合,建议植入角度控制在 50°~70°之间。过度倾斜或者垂直的植入角度均可能降低微种植体的稳定性。

参考文献

[1] Branemark P, Breine U, Adell R. Intraosseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies [J]. Scand J Plast Reconstr Surg, 1969,3 (2): 81-100.

[2] Jing Z, Wu Y, Jiang W, et al. Factors affecting the clinical success rate of miniscrew implants for orthodontic treatment [J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2016,31 (4): 835-841.

[3] 吴也可, 赵立星. 持续或间断应力加载下正畸微种植体稳定性的组织形态学和生物力学分析[J]. 口腔医学研究, 2016, 32 (4): 326-330.

[4] Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006,130 (1): 18-25.

[5] Araghbidikashani M, Golshah A, Nikkardar N, et al. *In vitro* impact of insertion angle on primary stability of miniscrews [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2016,150 (3): 436-443.

[6] Laursena MG, Melsen B, Cattaneoc PM. An evaluation of insertion sites for mini-implants: a micro-CT study of human autopsy material [J]. Angle Orthod, 2013,83 (2): 222-229.

[7] Albogha MH, Kitahara T, Todo M, et al. Predisposing factors for orthodontic mini-implant failure defined by bone strains in patient-specific finite element models [J]. Ann Biomed Eng, 2016,44 (10): 2948-2956.

[8] Maya RR, Pinzan-Vercelino CR, Gurgel JA. Effect of vertical placement angle on the insertion torque of mini-implants in human alveolar bone[J]. Dental Press J Orthod, 2016,21 (5): 47-52.

[9] Zhao L, Xu Z, Wei X, et al. Effect of placement angle on the stability of loaded titanium microscrews: a microcomputed tomographic and biomechanical analysis [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011,139 (5): 628-635.

[10] Zhao L, Xu Z, Yang Z, et al. Quantitative research using computed tomographic scanning of beagle jaws for determination of safe zones for micro-screw implantation [J]. Ann Anat, 2009,191(4): 379-388.

[11] Ovesy M, Voumard B, Zysset P. A nonlinear homogenized finite element analysis of the primary stability of the bone-implant interface [J]. Biomech Model Mechanobiol, 2018,17 (5): 1471-1480.

[12] Ko YC, Huang HL, Shen YW, et al. Variations in crestal cortical bone thickness at dental implant sites in different regions of the jawbone[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2017, 19 (3): 440-446.

[13] Seref-Ferlengez Z, Kennedy OD, Schaffler MB. Bone micro-damage, remodeling and bone fragility: how much damage is too much damage[J]. Bonekey Rep, 2015,4: 644.

[收稿日期:2018-08-19]

(本文编辑 李四群)