

纯莫氏锥度连接种植系统种植体—基台锁结力及基台下沉量的实验研究

任碧晖 徐业豪 戴婕婷 郭水根 魏洪武
南昌大学第四附属医院口腔科, 南昌 330000

[摘要] **目的** 探究纯莫氏锥度连接种植系统种植体与基台锁结力大小及基台下沉量的影响因素。**方法** 参考 Bicon 种植体基台连接设计, 制作不同型号的种植体试件及其对应型号的基台, 种植体—基台锁结锥度统一为 1.5° , 锁结深度分别为 1.0、2.0、3.0 mm, 锁结柱直径分别为 2.5、3.0、3.5 mm, 种植体外壁厚度分别为 0.15、0.30 mm, 实验机加载力分别为 200、300、400 N, 每组至少 10 枚种植体—基台试件。所有试件均采用万能实验机进行同样的加载方式 (指压+指定加载力 5 次), 分别于指压前、指压后、实验机加压 5 次后测量种植体—基台总高度, 计算基台下沉量, 最后采用万能实验机拉开种植体与基台, 观察并记录其锁结力。**结果** 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径对种植体—基台锁结力及基台下沉量均有影响, 种植体—基台锁结力随实验加载力、锁结深度、锁结柱直径的增加而增加 ($R=0.963$ 、 $R=0.607$ 、 $R=0.372$), 其中实验加载力对种植体—基台锁结力的影响最为显著。基台下沉量随着实验加载力的增加而增加 ($R=0.645$), 随锁结深度、锁结柱直径的增加而减少 ($R=-0.807$ 、 $R=-0.280$), 锁结深度对基台下沉量的影响最为明显。种植体外壁厚度与种植体—基台锁结力大小的变化无明显的相关性, 但种植体外壁厚度的增加会减少基台的下沉量, 两者呈反比关系。**结论** 通过调整纯莫氏锥度连接种植体—基台连接设计, 增加锁结深度及锁结柱直径, 增加基台就位时的加载力大小及加载次数, 可以增加种植体—基台锁结力, 减少基台松动甚至脱落等问题。同时为防止基台下沉导致后期咬合关系的改变, 建议基台就位时加载次数不少于 5 次, 同时建议使用临时修复体及早期只行初步咬合调整, 在使用一段时间后再行最终修复及最终的咬合调整。

[关键词] 牙种植体; 纯莫氏锥度连接; 种植体—基台锁结力; 基台下沉

[中图分类号] R783.1 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2023387



本文链接 开放科学标识码

Experimental study on implant-abutment locking force and abutment subsidence in a pure Morse taper connection implant system

Ren Bihui, Xu Yehao, Dai Jieting, Guo Shuigen, Wei Hongwu

Dept. of Stomatology, The Fourth Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330000, China

Correspondence: Wei Hongwu, E-mail: nc.whw@163.com

[Abstract] **Objective** This test aimed to investigate the factors affecting the locking force between the implant and abutment and the amount of abutment subsidence in pure Morse taper connection implant systems. **Methods** With reference to the Bicon implant abutment connection design, different types of implant specimens and their corresponding types of abutments were fabricated. The implant-abutment locking taper was uniformly 1.5° . The locking depths were 1.0, 2.0, and 3.0 mm. The diameters of the locking column were 2.5, 3.0, and 3.5 mm. The thicknesses of the outer wall of the implant were 0.15 and 0.30 mm. The loading forces of the testing machine were 200, 300, and 400 N. At least 10 specimens of each group of implant-abutment were used. All specimens were loaded in the same manner using a univer-

sal testing machine (finger pressure + specified loading force, five times). The total height of the implant-abutment was measured before finger pressure, after finger pressure, and after the testing machine was loaded for

[收稿日期] 2023-11-17; **[修回日期]** 2024-02-04

[作者简介] 任碧晖, 住院医师, 硕士, E-mail: 1282127248@qq.com

[通信作者] 魏洪武, 主任医师, 学士, E-mail: nc.whw@163.com

five times to calculate the amount of sinking of the abutment. Finally, the implant and abutment were pulled apart using the universal testing machine, and the subluxation force was observed and recorded. **Results** The test loading force, locking depth, and locking post diameter had an effect on the implant-abutment locking force and abutment subsidence. The implant-abutment locking force increased with the increase in the test loading force, locking depth, and locking post diameter ($R=0.963, 0.607, \text{ and } 0.372$, respectively), with the test loading force having the most significant effect. Abutment subsidence increased with the increase in test loading force ($R=0.645$) and decreased with the increase in locking depth and locking post diameter ($R=-0.807 \text{ and } -0.280$, respectively), with locking depth having the most significant effect on abutment subsidence. No significant correlation was found between the thickness of the outer wall of the implant and the change in the magnitude of the implant-abutment locking force. However, an increase in the thickness of the outer wall of the implant decreased the amount of abutment subsidence, which was inversely correlated. **Conclusion** The locking force of the implant-abutment can be increased by adjusting the design of the pure Morse taper connection implant-abutment connection, increasing the locking depth and locking post diameter, and increasing the amount and number of times the abutment is loaded during seating. Problems, such as loosening or detachment of the abutment, can be reduced. The recommended abutment to be loaded should be no less than five times during seating to prevent the abutment from sinking and causing changes in the occlusal relationship in the later stages. Preliminary occlusal adjustments should only be conducted in the early stages of the use of temporary restorations, and final restorations and occlusal adjustments are recommended to be performed after using the abutment for a period of time.

[Key words] dental implants; pure Morse taper connection; implant-abutment locking force; abutment subsidence

种植修复是一种安全有效的治疗方法,已广泛用于解决部分或全部的上下颌牙齿缺失问题。目前已有大量研究^[1-2]证实,种植体在长期内也显示出很高的存活率。随着种植技术的不断深入研究,种植体与基台的连接方式对种植的长期影响也受到了越来越多医师和学者的关注。种植体与基台的连接可分为外连接和内连接两类;外连接指种植体上端平面向外突出1~2 mm,与基台下端平面相应内凹部分连接;内连接则指种植体上端平面向内凹入与基台下端平面外突部分连接。其中内连接种植体临床更为常见,内连接包括内六角、内八角、齿合状和圆锥状连接等,圆锥状连接又可称为莫氏锥度连接^[3]。莫氏锥度连接相比其他连接方式具有稳定性更高^[4-5]、连接面密合性更佳^[6]、牙槽骨吸收较少^[7]等特点,且多方面性能较优越,因此逐渐引起临床重视。

常见的具有莫氏锥度连接结构的种植体系统有Bicon (1.5°)、Ankylos (5.7°)、ITI (6°~8°)和Astra Tech (11°)等,其中Bicon种植系统为常见的纯莫氏锥度连接,无螺丝辅助固位^[8]。目前纯莫氏锥度连接种植体主要应用在后牙区,其原因是后牙区骀力方向与种植体—基台固位方向一致,基台很少脱落。而对于前牙区,尤其是上前牙区,修复体的受力是以剪切力为主,当受到的力过大时其基台就容易出现旋转或基台松动脱位等问题。并且纯莫氏锥度连接的基台受到外力后会产生楔

效应,基台会产生一定的下沉配合,导致后期修复体咬合的改变,咬合降低。本团队在临床上使用纯莫氏锥度连接的种植系统近十余年的时间里,观察发现纯莫氏锥度连接种植体在后牙区存在基台下沉的问题,许多患者在后期的随访复查时检查发现咬合偏低,患者自觉牙齿无咬合接触,咀嚼无力及食物嵌塞等问题。对于纯莫氏锥度连接种植体在前牙区(尤其是上前牙区)的应用,观察发现相对于后牙区,前牙区上部修复结构更容易出现松动甚至脱落等问题^[9]。

目前关于纯莫氏锥度连接种植体的研究较少,而关于纯莫氏锥度连接种植体与基台固位力及基台下沉量的研究则更为罕见,因此本文旨在探究实验加载力、锁结深度、锁结柱直径、种植体外壁厚度对纯莫氏锥度连接种植系统基台与种植体锁结力大小及基台下沉量的影响,以期为临床口腔种植修复提供一定的建议。

1 材料和方法

1.1 试件制备

参考Bicon种植体的连接方式设计图纸,采用BO205-III型精密自动车床(TSUGAMI公司,日本)使用TA4G材料制作120枚不同锁结柱直径、锁结深度、种植体外壁厚度的种植体试件及其相对应型号的基台,共分为12种类型,每种试件各

10枚，试件的具体数据见表1，种植体—基台试件外形设计见图1。所有种植体试件及其基台采取统一的方式进行清洗、抛光、精度检测（精度要求： ± 0.2 mm），符合标准者纳入实验。种植体试件及基台试件直径均为5.00 mm，锁结锥度统一为1.5°，种植体试件总高度为8.50 mm，基台试件总高度为15.00 mm。

1.2 实验仪器

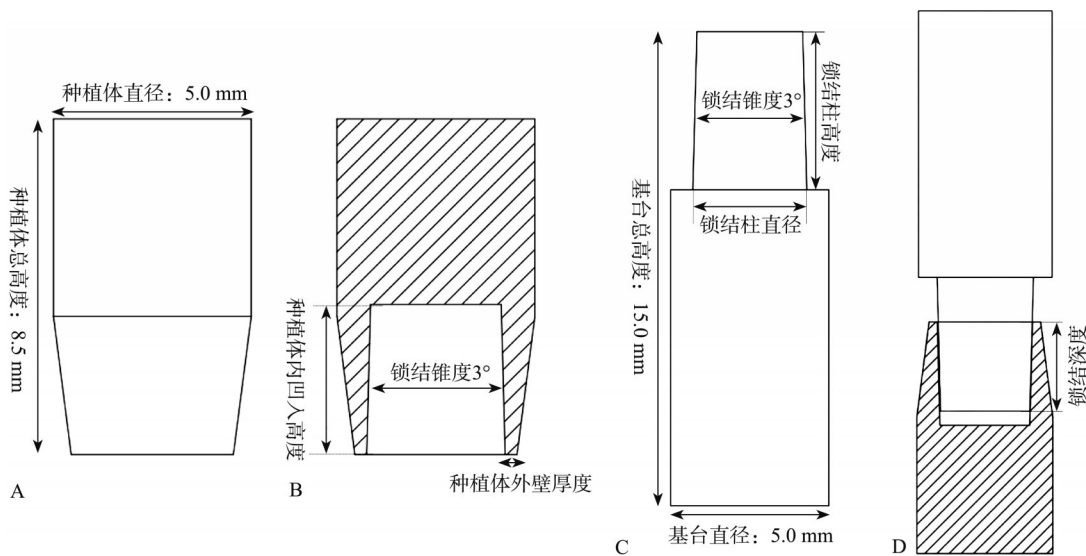
XBD4504型微机控制电子万能实验机（上海馨标检测仪器有限公司），magnescale高度计

（SONY公司，日本）等。

表 1 种植体及其对应基台试件的分组情况

Tab 1 Grouping of implant and its corresponding abutment specimens n

锁结柱直径/mm	外壁厚0.15 mm			外壁厚0.30 mm			合计
	锁结深度/mm			锁结深度/mm			
	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	
2.5	10	10	10	0	0	0	30
3.0	10	10	10	0	0	0	30
3.5	10	10	10	10	10	10	60
合计	30	30	30	10	10	10	120



A: 种植体正面图；B: 种植体剖面图；C: 基台正面图；D: 种植体—基台正面图。

图 1 种植体—基台试件外形设计

Fig 1 Implant-abutment specimen profile

1.3 实验方法

1.3.1 组装种植体—基台

将基台无压力地安放在其相对应的种植体上，使用magnescale高度计测量种植体—基台总高度，所得高度为初始高度H0（图2A、B）。

1.3.2 种植体—基台不同加载情况下的数据测量

120枚种植体—基台分为12种类型，每组试件各10枚，所有试件均先测量施力后的试件高度，再测量拉伸后的锁结力。

采用“指压1次+指定加载力施加5次”的施力方式，首先用手指的力量模拟临床操作，按压种植体—基台使其锁结在一起（图2C），按压完成后测量其高度，所得高度为指压后高度H1，该过程由同一人员完成；然后采用电子万能实验机的压缩模式，先对种植体—基台施加第一个指定加载力（200 N）的压力，加力速度为10 N/s，位移速度为2.0 mm/min，保持时间0.2 s，加压完成后根据Test Fast软件记录其加载力峰值（图2D~F），

5次加压完成后，测量种植体—基台高度，所得高度为机压后高度H2。施力完成后再采用万能实验机的拉伸模式将种植体和基台分别固定在上下夹持臂上，位移速度为2.0 mm/min，缓慢拉开种植体和基台，直到种植体和基台完全分离后停止，根据Test Fast软件将实验力峰值记为种植体—基台锁结力（图2G~I）。之后采用电子万能实验机的压缩模式，将加载力设定为300、400 N，重复上述步骤。

1.3.3 测定种植体—基台锁结力的变化幅度

为了解实验加载力、锁结深度、锁结柱直径对种植体—基台锁结力的影响程度，计算各组锁结力的变化幅度，锁结力变化幅度=（最大锁结力-最小锁结力）/最大锁结力×100%。

1.3.4 计算基台下沉量及其变化幅度

根据施力前后试件的高度变化测量基台下沉量及变化幅度，基台下沉量分为指压下沉量S1、机压下沉量S2、总下沉量S0。指压下沉量：手指

按压基台后其下沉量, $S1=H0-H1$; 机压下沉量: 指定加载力施加 5 次后基台下沉量, $S2=H1-H2$; 总下沉量: 手指按压+指定加载力施加 5 次后基台下沉量, $S0=H0-H2=S1+S2$ 。同时为了解实验加载

力、锁结深度、锁结柱直径对基台下沉量的影响程度, 计算各组基台下沉量的变化幅度, 下沉量变化幅度= (最大下沉量-最小下沉量) /最大下沉量×100%。



A、B: 测量种植体—基台高度; C: 用手指的力量按压种植体—基台; D-F: 采用万能实验机对种植体—基台施加指定力; G-I: 采用万能实验机将种植体—基台分离。

图 2 实验流程

Fig 2 Test procedure

1.4 统计分析

采用 SPSS 26.0 统计软件对数据进行分析, 对各样本加压方式、种植体—基台锁结力和基台下沉量结果进行正态分布检验及方差齐性分析, 显著性水准 α 定为 0.05。若样本均数服从正态分布且组间方差齐性, 则使用多样本均数比较的单因素方差分析及 Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey HSD) 检验进行组间差异的显著性比较, 显著性水准 α 定为 0.05。采用配对 t 检验进行组内差异性比较, 显著性水准 α 定为 0.05。最后采用 Pearson 相关系数分析实验加载力、锁结深度、锁结柱直径与种植体—基台锁结力及基台下沉量的相关性, $R>0$ 表示正相关、 $R<0$ 表示负相关。

2 结果

2.1 种植体—基台的锁结力及基台下沉量

研究综合分析发现: 不同的实验加载力、锁结深度、锁结柱直径及种植体外壁厚度对种植体基台锁结力大小及基台下沉量均有影响, 种植体基台锁结力大小及基台下沉量发生一定程度的改变。整个实验中, 种植体—基台锁结力大小范围为 164.55~406.15 N, 平均锁结力为 271.11 N; 基台总下沉量范围为 0.20~0.47 mm, 平均总下沉量为 0.32 mm, 其中指压下沉量范围为 0.06~0.15 mm, 平均指压下沉量为 0.10 mm。

2.2 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径对种植体—基台的锁结力的影响

在不同的加载力组中，所有型号的种植体—基台锁结力的差异均有统计学意义 ($P<0.05$)，且锁结力随加载力的增加而增加 ($R=0.963$)，见表2。

在不同的锁结深度组中，除加载力为200 N、锁结柱直径为2.5 mm组外，其余组种植体—基台锁结力的差异均有统计学意义 ($P<0.05$)，且锁结力随着锁结深度的增加而增加 ($R=0.607$)，见表3。

表 2 不同加载力下种植体—基台的锁结力及其变化幅度

Tab 2 Implant-abutment locking forces and their magnitude of change under different loading forces

锁结柱直径/mm	锁结深度/mm	锁结力/N			P 值	锁结力变化幅度/%	相关系数 R
		加载 200 N	加载 300 N	加载 400 N			
2.5	1.0	182.15±10.60*	220.67±10.14*	312.45±21.72*	0.000	41.70	0.941
	2.0	190.14±14.16*	286.44±16.81*	343.94±23.33*	0.000	44.72	0.954
	3.0	187.50±14.42*	295.10±12.68*	353.96±14.71*	0.000	47.03	0.968
3.0	1.0	164.55±15.25*	247.06±30.59*	316.00±14.74*	0.000	47.93	0.949
	2.0	192.60±9.87*	289.30±20.84*	367.80±27.22*	0.000	47.63	0.963
	3.0	189.75±18.99*	262.60±34.84*	380.22±9.20*	0.000	50.10	0.953
3.5	1.0	186.06±11.94*	252.00±15.77*	316.00±14.74*	0.000	41.12	0.969
	2.0	199.28±17.15*	289.17±19.00*	367.80±27.22*	0.000	45.82	0.977
	3.0	206.30±10.70*	315.05±7.20*	406.15±14.84*	0.000	49.21	0.990

注： $P<0.05$ ，差异有统计学意义；*表示该值与组内另外两个数值比较差异均具有统计学意义， $\alpha<0.05$ 。

表 3 不同锁结深度下种植体—基台的锁结力及其变化幅度

Tab 3 Implant-abutment locking force and its magnitude of change at different locking depths

实验机加载力/N	锁结柱直径/mm	锁结力/N			P 值	锁结力变化幅度/%	相关系数 R
		锁结深 1.0 mm	锁结深 2.0 mm	锁结深 3.0 mm			
200	2.5	182.15±10.60	190.14±14.16	187.50±14.42	0.398	4.20	0.169
	3.0	164.55±15.25*	192.60±9.87*	189.75±18.99*	0.000	14.56	0.538
	3.5	186.06±11.94*	199.28±17.15	206.30±10.70	0.008	9.81	0.538
300	2.5	220.67±10.14*	286.44±16.81	295.10±12.68	0.000	25.22	0.853
	3.0	247.06±30.59*	289.30±20.84	262.60±34.84	0.011	14.60	0.193
	3.5	252.00±15.77*	289.17±19.00*	315.05±7.20*	0.000	20.65	0.874
400	2.5	312.45±21.72*	343.94±23.33	353.96±14.71	0.000	11.73	0.649
	3.0	316.00±14.74*	367.80±27.22	380.22±9.20	0.000	16.89	0.795
	3.5	316.00±14.74*	367.80±27.22*	406.15±14.84*	0.000	22.20	0.854

注： $P<0.05$ ，差异有统计学意义；*表示该值与组内另外两个数值比较差异均具有统计学意义， $\alpha<0.05$ 。

在不同锁结柱直径组中，除锁结深度1.0 mm、加载力400 N组及锁结深度2.0 mm、加载力200 N/300 N组外，其余组种植体—基台锁结力大小的差异均具有统计学意义 ($P<0.05$)，且随着锁结柱直径的增加锁结力有小范围的增加 ($R=0.372$)，见表4。

实验加载力、锁结深度、锁结柱直径与种植体—基台锁结力的关系见图3。

根据各组种植体—基台锁结力变化幅度的结果分析发现，随着实验加载力的逐渐增加，种植体—基台锁结力增加幅度平均为46.14%；随着锁结深度的逐渐增加，种植体—基台锁结力的增加幅度平均为15.54%；随着锁结柱直径的逐渐增加，

种植体—基台锁结力的增加幅度平均为8.42%；与锁结深度、锁结柱直径相比，种植体—基台的锁结力受实验加载力的影响更大。

2.3 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径对基台下沉量的影响

在不同的加载力中，除锁结柱直径为3.0 mm、锁结深度为3.0 mm组外，其余组基台下沉量的差异均有统计学意义 ($P<0.05$)，且下沉量随加载力的增加而增加 ($R=0.645$)，见表5。

在不同锁结深度组中，所有种植体—基台型号基台下沉量的差异均有统计学意义 ($P<0.05$)，且随着锁结深度的增加，基台下沉量不断减少 ($R=-0.807$)，见表6。

表 4 不同锁结柱直径下种植体—基台锁结力及其变化幅度

Tab 4 Implant-abutment locking force and its variation with different locking post diameters

锁结深度/mm	实验机加载力/N	锁结力/N			P值	锁结力变化幅度/%	相关系数R
		锁结柱直径2.5 mm	锁结柱直径3.0 mm	锁结柱直径3.5 mm			
1.0	200	182.15±10.60	164.55±15.25*	186.06±11.94	0.002	11.56	0.104
	300	220.67±10.14*	247.06±30.59	252.00±15.77	0.005	12.43	0.533
	400	312.45±21.72	316.00±14.74	316.00±14.74	0.871	1.13	0.087
2.0	200	190.14±14.16	192.60±9.87	199.28±17.15	0.337	4.59	0.269
	300	286.44±16.81	289.30±20.84	289.17±19.00	0.930	0.99	0.062
	400	343.94±23.33*	367.80±27.22	367.80±27.22	0.000	6.49	0.698
3.0	200	187.50±14.42	189.75±18.99	206.30±10.70*	0.019	9.11	0.463
	300	295.10±12.68	262.60±34.84*	315.05±7.20	0.000	16.65	0.272
	400	353.96±14.71*	380.22±9.20*	406.15±14.84*	0.000	12.85	0.862

注: $P<0.05$, 差异有统计学意义; *表示该值与组内另外两个数值比较差异均具有统计学意义, $\alpha<0.05$ 。

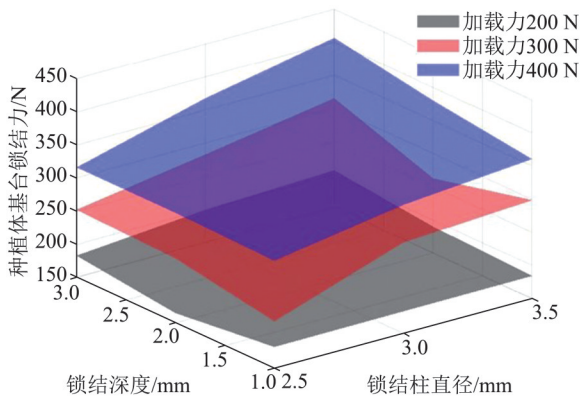


图 3 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径与种植体—基台锁结力的关系图

Fig 3 Relationship between test loading force, locking depth and locking post diameter on implant-abutment locking force

在不同锁结柱直径组中, 除锁结深度 1.0 mm、加载力 200 N/300 N 组及锁结深度 3.0 mm、加载力 300 N/400 N 组外, 其余组基台下沉量的差异均具有统计学意义 ($P<0.05$), 且随着锁结柱直径的增加基台下沉量有减少的趋势 ($R=-0.280$), 见表 7。

实验加载力、锁结深度、锁结柱直径与基台下沉量的关系见图 4。

根据各组基台下沉量变化幅度结果分析发现, 随着实验加载力的逐渐增加, 基台下沉量增加幅度平均为 22.04%; 随着锁结深度的逐渐增加, 基台下沉量减少幅度平均为 32.89%; 随着锁结柱直径的逐渐增加, 基台下沉量减少幅度平均为 11.20%; 由此可见, 基台的下沉量受锁结深度的影响更大, 受实验加载力的影响次之, 受锁结柱直径的影响最小。

表 5 不同实验加载力下基台下沉量及其变化幅度

Tab 5 Abutment subsidence and its magnitude of change under different test loading forces

锁结柱直径/mm	锁结深度/mm	基台下沉量/mm			P值	下沉量变化幅度/%	相关系数R
		加载 200 N	加载 300 N	加载 400 N			
2.5	1.0	0.36±0.04	0.38±0.05	0.47±0.02*	0.000	23.40	0.757
	2.0	0.31±0.03*	0.33±0.02*	0.41±0.02*	0.000	24.39	0.857
	3.0	0.22±0.02*	0.24±0.01*	0.30±0.02*	0.000	26.67	0.872
3.0	1.0	0.36±0.04	0.38±0.06	0.42±0.02*	0.015	19.05	0.505
	2.0	0.32±0.03	0.31±0.02	0.37±0.02*	0.000	13.51	0.611
	3.0	0.24±0.02	0.29±0.11	0.30±0.02	0.181	20.00	0.041
3.5	1.0	0.33±0.03*	0.38±0.05*	0.43±0.05*	0.000	23.26	0.724
	2.0	0.26±0.04*	0.29±0.02*	0.34±0.03*	0.000	14.71	0.738
	3.0	0.20±0.03*	0.27±0.05	0.30±0.04	0.000	33.33	0.701

注: $P<0.05$, 差异有统计学意义; *表示该值与组内另外两个数值比较差异均具有统计学意义, $\alpha<0.05$ 。

2.4 种植体外壁厚度对种植体—基台锁结力及基台下沉量的影响

在同一加载力及锁结深度下, 种植体外壁

厚 0.15 mm 和 0.30 mm 间, 种植体—基台锁结力的差异不是每组均具有统计学意义, 只有加载力为 300 N、锁结深度为 1.0、3.0 mm 组和加载力为

400 N、锁结深度为 1.0、2.0、3.0 mm 组中，这 2 种植体外壁厚度间锁结力的差异具有统计学意义，

但这 2 种厚度对种植体—基台锁结力的影响无明显的线性关系，见表 8、图 5A。

表 6 不同锁结深度下基台下沉量及其变化幅度

Tab 6 Abutment subsidence and its magnitude at different locking depths

实验机加载力/N	锁结柱直径/mm	基台下沉量/mm			P 值	下沉量变化幅度/%	相关系数 R
		锁结深 1.0 mm	锁结深 2.0 mm	锁结深 3.0 mm			
200	2.5	0.36±0.04*	0.31±0.03*	0.22±0.02*	0.000	38.89	-0.871
	3.0	0.36±0.04*	0.32±0.03*	0.24±0.02*	0.000	33.33	-0.406
	3.5	0.33±0.03*	0.26±0.04*	0.20±0.03*	0.000	39.39	-0.856
300	2.5	0.38±0.05*	0.33±0.02*	0.24±0.01*	0.000	36.84	-0.864
	3.0	0.38±0.06*	0.31±0.02	0.29±0.11	0.029	23.68	-0.845
	3.5	0.38±0.05*	0.29±0.02	0.27±0.05	0.000	28.95	-0.742
400	2.5	0.47±0.02*	0.41±0.02*	0.30±0.02*	0.000	36.17	-0.963
	3.0	0.42±0.02*	0.37±0.02*	0.30±0.02*	0.000	28.57	-0.928
	3.5	0.43±0.05*	0.34±0.03*	0.30±0.04*	0.000	30.23	-0.787

注：P<0.05，差异有统计学意义；*表示该值与组内另外 2 个数值比较差异均具有统计学意义，α<0.05。

表 7 不同锁结柱直径下基台下沉量及其变化幅度

Tab 7 Abutment subsidence and its magnitude of change for different locking column diameters

锁结深度/mm	实验机加载力/N	基台下沉量/mm			P 值	下沉量变化幅度/%	相关系数 R
		锁结柱直径 2.5 mm	锁结柱直径 3.0 mm	锁结柱直径 3.5 mm			
1.0	200	0.36±0.04	0.36±0.04	0.33±0.03	0.115	8.33	-0.294
	300	0.38±0.05	0.38±0.06	0.38±0.05	0.974	0.00	-0.042
	400	0.47±0.02*	0.42±0.02	0.43±0.05	0.004	10.64	-0.421
2.0	200	0.31±0.03	0.32±0.03	0.26±0.04*	0.003	18.75	-0.474
	300	0.33±0.02*	0.31±0.02	0.29±0.02	0.001	12.12	-0.616
	400	0.41±0.02*	0.37±0.02*	0.34±0.03*	0.000	17.07	-0.777
3.0	200	0.22±0.02	0.24±0.02	0.20±0.03*	0.004	16.67	-0.145
	300	0.24±0.01	0.29±0.11	0.27±0.05	0.382	17.24	0.291
	400	0.30±0.02	0.30±0.02	0.30±0.04	0.747	0.00	-0.043

注：P<0.05，差异有统计学意义；*表示该值与组内另外两个数值比较差异均具有统计学意义，α<0.05。

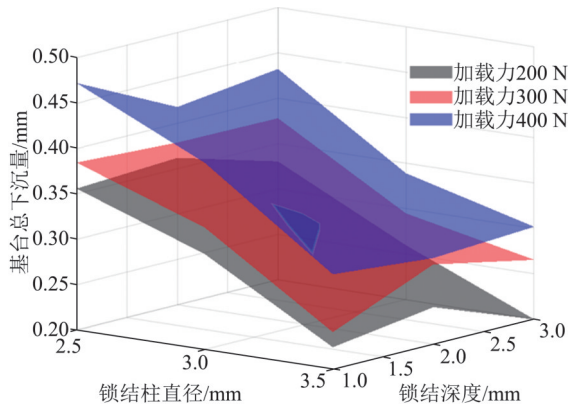


图 4 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径与基台下沉量的关系图

Fig 4 Relationship between test loading force, locking depth and locking post diameter on abutment subsidence

但在同一加载力及锁结深度下，种植体外壁厚 0.15 mm 和 0.30 mm 间基台下沉量的差异均具有统计学意义 (P<0.05)，种植体外壁厚度的增加会

一定程度地减少基台的下沉量，见表 8、图 5B。

3 讨论

纯莫氏锥度连接种植系统，无螺丝辅助固位，完全依靠种植体—基台紧密连接所产生摩擦力固位。临床修复过程中，种植体与基台通过敲击就位，基台受到外力后产生楔效应，可使种植体—基台界面达到冷焊接的效果，研究^[10-13]表明，其种植体—基台界面最冠方的微间隙不到 0.5 μm。且种植体—基台连接具有稳定性高、微动小等特征，基台为柱状实心结构，机械强度高，因而很少出现机械并发症及生物学并发症，种植体长期存留率及边缘骨稳定性高。Ribeiro 等^[14]对锥度连接种植体进行了一项系统回顾和 Mate 分析发现，种植体 5 年后的生存率为 99%，成功率为 97%，其中生物学并发症和机械并发症分别为 2.6% 和 2.9%。纯

下沉量明显趋于稳定, 最终为 (0.45 ± 0.09) mm, 与预实验结果相似。因此本实验为保证基台下沉量趋于稳定, 统一设定实验机加载次数为5次。

本实验研究发现, 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径对种植体—基台锁结力及基台下沉量均有影响。种植体—基台锁结力范围为 164.55~406.15 N, 平均锁结力为 271.11 N。Stenio Cardoso 等^[20]对 Bicon 种植体施加 21 N 的加载力 4 次, 发现其锁结力为 208 N, 结果与本研究不同。而本研究发现基台总下沉量范围 0.20~0.47 mm, 平均总下沉量为 0.32 mm, 与 Moon 等^[19]研究结果相近。种植体—基台锁结力随实验加载力、锁结深度、锁结柱直径增加而增加, 与锁结深度、锁结柱直径相比, 种植体与基台的锁结力受实验加载力的影响更大。基台下沉量随着实验加载力的增加而增加, 随着锁结深度、锁结柱直径的增加而减少, 并且基台的下沉量受锁结深度的影响更大, 受实验加载力的影响次之, 受锁结柱直径的影响最小。笔者认为其主要原因是随着加载力的增加, 基台受到外力后产生的楔效应越明显, 基台下沉量也随之增大, 种植体—基台连接部分接触越紧密, 压力越大, 因此锁结力也随之增加。而锁结深度、锁结柱直径的增加, 使种植体—基台连接部分的接触面积增加, 导致其摩擦力增加, 种植体—基台锁结力增加。同时研究发现, 随着锁结深度、锁结柱直径的增加, 锁结力越来越接近其加载力甚至超过加载力。相反, 因为种植体—基台连接部分的接触面积增加, 基台受到外力下沉时其阻力增加, 因此基台下沉量随之减少。基台下沉量受锁结深度的影响比受锁结柱直径的影响大, 其原因首先可能是锁结深度增加幅度为 1 mm, 而锁结柱直径增加幅度仅为 0.5 mm, 两者增量不同; 其次基台下沉时的阻力变化, 受种植体—基台连接部分接触面积的垂直向增量(锁结深度的增加)的影响大于水平向增量(锁结柱直径的增加)的影响。

在种植体外壁厚度对种植体—基台锁结力及基台下沉量的影响研究中发现, 不同的种植体外壁厚度, 与种植体—基台锁结力大小的变化并无明显的相关性, 但种植体外壁厚度的增加会减少基台的下沉量, 两者有明显的反比关系。其原因可能是随着种植体外壁厚度的增加, 种植体外壁强度增加, 基台受到外力时的形变量减少, 进一步导致基台下沉量的减少, 而基台形变量的变化与种植体—基台锁结力的变化则无明显关联。

因此, 为增加种植体—基台的锁结力, 减少纯莫氏锥度连接的种植系统基台松动甚至脱落等问题, 可以通过调整种植体—基台连接设计, 增加锁结深度及锁结柱直径, 增加基台就位时的加载力及加载次数, 建议加载次数不少于5次。同时为防止咀嚼运动导致的基台下沉引起咬合关系的改变, 可通过以下方式进行调整, 第一, 建议加工厂在制作修复体时应保证基台锁结到位; 第二, 临床上, 修复体初戴时医生可进行一定程度的咬合调整, 但最终的咬合调整建议在患者咀嚼一段时间后进行; 第三, 采取临时冠修复, 患者使用一段时间后, 再进行基台水平印模制作最终修复体进行最终修复, 嘱咐患者定期随访, 检查并调整异常咬合。

同时研究发现, 实验加载力、锁结深度、锁结柱直径、种植体外壁厚度对纯莫氏锥度连接种植系统基台与种植体锁结力大小及基台下沉量的影响并不是所有分组差异均具有统计学意义, 甚至同一影响因素下每组间的变化趋势也有不同。本团队认为其原因可能与实验样本数目偏小, 实验存在一定的误差, 以及该因素与种植体锁结力大小及基台下沉量影响程度有关, 影响程度越小, 其变化量越小, 实验误差对实验数据的影响相对就越大, 从而导致实验数据出现偏差。

本实验研究的不足之处: 第一, 体外模拟实验, 不能完全表示口内修复体的受力情况, 且加载力仅为垂直的加载; 第二, 种植体—基台的锁结力及基台下沉量的影响因素众多, 实验仅考虑实验加载力、锁结深度、锁结柱直径、种植体外壁厚度等4种, 相对局限; 第三, 样本数量较少, 存在一定的实验误差。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Romanos GE, Delgado-Ruiz R, Sculean A. Concepts for prevention of complications in implant therapy[J]. *Periodontol* 2000, 2019, 81(1): 7-17.
- [2] Lang NP, Pun L, Lau KY, et al. A systematic review on survival and success rates of implants placed immediately into fresh extraction sockets after at least 1 year[J]. *Clin Oral Implant Res*, 2012, 23(Suppl 5): 39-66.
- [3] Schmitt CM, Nogueira-Filho G, Tenenbaum HC, et al. Performance of conical abutment (Morse Taper) connection implants: a systematic review[J]. *J Biomed Mater*

- Res A, 2014, 102(2): 552-574.
- [4] Machado LS, Bonfante EA, Anchieta RB, et al. Implant-abutment connection designs for anterior crowns: reliability and failure modes[J]. *Implant Dent*, 2013, 22(5): 540-545.
- [5] Ricomini Filho AP, Fernandes FS, Straioto FG, et al. Preload loss and bacterial penetration on different implant-abutment connection systems[J]. *Braz Dent J*, 2010, 21(2): 123-129.
- [6] do Nascimento C, Miani PK, Pedrazzi V, et al. Leakage of saliva through the implant-abutment interface: *in vitro* evaluation of three different implant connections under unloaded and loaded conditions[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2012, 27(3): 551-560.
- [7] Pessoa RS, Sousa RM, Pereira LM, et al. Bone remodeling around implants with external hexagon and morse-taper connections: a randomized, controlled, split-mouth, clinical trial[J]. *Clin Implant Dent Rel Res*, 2017, 19(1): 97-110.
- [8] 汤初凉, 赵世凯, 黄翠. 莫氏锥度连接在口腔种植中的应用特点及研究进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2017, 52(1): 59-62.
Tang CL, Zhao SK, Huang C. Features and advances of Morse taper connection in oral implant[J]. *Chin J Stomatol*, 2017, 52(1): 59-62.
- [9] 龚金梅, 夏勋, 胡常琦, 等. 单纯锥度固位外连接种植体在前牙区窄牙槽嵴中应用的临床观察[J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(2): 175-182.
Gong JM, Xia X, Hu CQ, et al. Clinical observation of a narrow alveolar ridge in the anterior area with a simple taper retention implant[J]. *West China J Stomatol*, 2022, 40(2): 175-182.
- [10] Liu Y, Wang JW. Influences of microgap and micromotion of implant-abutment interface on marginal bone loss around implant neck[J]. *Arch Oral Biol*, 2017, 83: 153-160.
- [11] Chu CM, Huang HL, Hsu JT, et al. Influences of internal tapered abutment designs on bone stresses around a dental implant: three-dimensional finite element method with statistical evaluation[J]. *J Periodontol*, 2012, 83(1): 111-118.
- [12] Baixe S, Fauxpoint G, Arntz Y, et al. Microgap between zirconia abutments and titanium implants[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2010, 25(3): 455-460.
- [13] Gao WM, Geng W, Luo CC. Prosthetic complications of fixed dental prostheses supported by locking-taper implants: a retrospective study with a mean follow-up of 5 years[J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1): 476.
- [14] Ribeiro MCO, Vargas-Moreno VF, Gomes RS, et al. Implant-supported crowns with locking taper implant-abutment connection: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Prosthet Dent*, 2022: S0022-3913(22)00379-1.
- [15] 王美青. 口腔解剖生理学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 439.
Wang MQ. Oral anatomy and physiology[M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 439.
- [16] 周哲, 于婉琦, 杨诗卉, 等. 人天然牙的力学性能及其影响因素研究进展[J]. *实用口腔医学杂志*, 2022, 38(2): 259-262.
Zhou Z, Yu WQ, Yang SH, et al. Progress in the study of mechanical properties of human natural teeth and their influencing factors[J]. *J Pract Dent*, 2022, 38(2): 259-262.
- [17] Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, et al. Single tooth bite forces in healthy young adults[J]. *J Oral Rehabil*, 2004, 31(1): 18-22.
- [18] Shoji Y, Yusof MYPM, Idris RIB, et al. Bite force of patients with tooth pain[J]. *Clin Exp Dent Res*, 2022, 8(5): 1213-1217.
- [19] Moon SJ, Kim HJ, Son MK, et al. Sinking and fit of abutment of locking taper implant system[J]. *J Adv Prosthodont*, 2009, 1(2): 97-101.
- [20] Stenio Cardoso R, Sheyla Viana O, Sarita Pires V, et al. Morse taper internal connection implants: would abutment reseating influence retention[J]. *Braz J Oral Sci*, 2015, 14(3): 209-213.

(本文编辑 张玉楠)