微钛板间距对下颌升支骨折固定术稳定性影响的有限元分析

Mandibularramus

**目的**：采用有限元分析方法研究使用双微钛板对下颌升支骨折固定时，不同微钛板间距选择在术后行使咬合功能时的骨折块相对位移情况，为下颌升支骨折固定手术的设计提供力学理论基础。

**方法**：

选取一名健康成年志愿者，进行CBCT扫描，获取下颌骨及牙列的影像资料，志愿者知情同意并配合。利用Mimics软件进行下颌骨的三维重建，并使用BlueSkyBioPlan软件重建下颌牙列模型。在3-Matic软件中进行模型配准。使用Geomagic Warp软件建立牙周膜模型，并使用Ansys软件中的子软件Spaceclaim建立松质骨模型。在Spaceclaim软件中设置下颌骨一型骨折线，根据强生公司四孔微钛板参数建立微钛板模型，长度为27mm，厚度为1mm，螺孔为2mm。实验通过设计两微钛板的间距分为22组，2mm间距为初始距离，以1毫米为间距增加值，逐步增加两微钛板之间距离至23mm。两骨折块之间设置为摩擦接触，固定双侧髁突，并于双侧第一磨牙施加230N的咬合力，计算在此载荷下两骨折块之间的相对位移情况。

**结果**：通过求解并计算得出以下结果，随着微钛板间距的增加，相对位移值逐渐减少，由间距2mm时的相对位移0.46751mm减小至间距23mm时的相对位移0.105789mm。在间距20mm时的相对位移为0.147448mm，降低至临床骨折一期愈合的相对位移临界值0.15mm之下。（数据充填）

**结论**：1.在下颌升支骨折使用双微钛板固定术后，行使咬合功能时，骨折固定后的稳定性随两微钛板的间距增加而增加。

2.

**关键词**：下颌骨骨折；坚强内固定；微钛板；固定方法；有限元分析

介绍

下颌骨骨折的损伤机制与其解剖特点密切相关，由于解剖形态较为突出，且存在诸多薄弱区，如下颌角，髁状突等位置，在受外力下容易发生骨折，下颌骨骨折的发生率在颌面部骨折中占比较大，约为70%[1]。在下颌骨骨折中最易发生的是下颌角骨折 引用 下颌升支位于髁突及喙突下，下颌角上部，虽然骨板厚度较相对下颌体较薄，但不易发生骨折，有研究表明，下颌升支骨折的发生率占所有骨折的17.5%，[[下颌骨骨折统计分析\_2.pdf]]，发生率约为7%，6.1%[[下颌骨骨折统计分析\_4.pdf]]，发生率为6.6%，发生率仅占所有骨折的1.98%，[[下颌骨骨折统计分析.pdf]]，下颌升支骨折发生率仅高于髁突及牙槽突骨折[2-4]。

下颌骨骨折的治疗对患者的预后至关重要，骨折治疗的主要目的是解剖复位及恢复正常咬合，过去常使用非侵入性的保守治疗方法，如颌间结扎，而较少使用侵入性治疗方法，颌间结扎存在诸多缺点，使用通过牙齿进行结扎颌间结扎的方式，可能会导致无法顺利愈合，难以解剖复位，出现营养风险，口腔卫生维护不佳等问题，如使用通过螺钉进行颌间结扎的方式，除以上缺点之外，还易发生牙根的损伤，且需要二期拆除螺钉，对患者创伤较大（29）。 切开复位内固定术是另一种治疗面部骨折的方案，Brons 和 Boering 将最初用于手部手术的小型接骨板板用于下颌骨骨折的治疗。Michelet 等人 (1973) 在300多例下颌骨骨折中应用了微型钢板。他将材料沿着张力轨迹放置，并使用单皮质螺钉以避免损伤牙根。在大多数情况下，术后无需进行颌间固定。

Champy 等人 (1975, 1976a,b, 1977a,b, 1978) 改进了这种方法，使其在临床上更易于应用（图7；Champy 和 Lodde，1976，1977；Champy，1983，1992）。如今研究及指南建议使用切开复位内固定（OpenReductionInternalFixation，ORIF）的手术方法[5]。[[下颌骨骨折统计分析\_3.pdf]]

学科交叉是重要的医学研究方法，通过使用其他领域优秀的研究方法来研究本学科自身难以解决的问题，如近年来多使用计算机科学中的人工智能技术来做预测模型（引用），使用材料学的方法来对口腔领域所使用的材料性能进行研究（引用）。

力学是骨折发生、治疗及影响预后的重要因素，骨折的发生位置和严重程度是受到了不同方向及类型的力所导致的（引用），在治疗的过程中，需考虑颌面部的力学特征，选择为钛版的类型及固定的位置（引用），骨折固定后的稳定性至关重要，如果骨折固定后在行使咬合功能时，两骨折块之间发生了位移，则骨折愈合会受到影响， 具体受到什么影响引用

通过引用力学学的研究方法，可有效的对发生的机制（引用），骨折的预后进行分析（引用），对骨折固定后影响有多种研究方式，如使用体外模型，使用临床资料，观察预后，或者有限元分析法（引用） 引用 说谁使用了什么方法对稳定性进行了研究

有限元分析法是一种重要的力学研究方法，可通过计算机模拟仿真的方式，给物体上分配不同材料后施加载荷，来预测物体对力的反应[6]。1960年，Friedenberg[7]首次将有限元法引入到医学领域。1973年，有限元法被Thresher等[8]首次应用到口腔医学的生物力学研究中。并在口腔医学的各个领域得到了广泛的发展。在口腔颌面外科中，此方法常用来对行坚强内固定术的骨折患者的术后稳定性进行评估，如不同种类微钛版对骨折术后稳定性的影响等[10]，此处引用文献 ，在传统的生物力学分析中，常使用解剖模型或者树脂模型来进行力学分析（33），引用 存在成本较高，直观性较差，破坏性较强等缺点，模型及固定在模型上的微钛版在使用万能试验机进行一次实验后，会发生变形，甚至断裂，若想完成大量实验成本较高，而此方法可以将数字化的影像资料如CBCT进行三维重建，来在计算机上模拟体外模型，有无破坏性，可重复实验，可量化分析，实验成本较低等优点，故本研究采用计算机模拟的三维有限元分析的方法进行实验。

下颌升支骨折的坚强内固定术的手术方案设计目前尚未明确，有病例报道下颌升支骨折时采用三点固定法，即使用三个两孔微钛版可达到稳定的固定效果，而有其他学者表明使用两点固定即可达到相同的效果，无需使用三点固定引用。

在使用两点固定法时，两微钛板之间的距离选择尚无明确结论，故本研究采用有限元分析的方法，从生物力学的角度阐明不同微钛板间距对术后稳定性的影响，为下颌升支骨折手术方案的设计提供生物力学理论基础。

材料与方法

2.1下颌骨模型的三维重建：

选取一名健康成年志愿者，无错颌畸形，使用锥形束计算机断层成像（conebeamcomputerizedtomography，CBCT）扫描志愿者的颌面部，收集患者.dicom格式的影像资料。本研究获得延边大学附属医院伦理委员会批准（伦理批准号：），在拍摄CBCT前均已告知志愿者实验目的及实验内容，并签署知情同意书。

志愿者的排纳标准：

2.1.1纳入标准

1.无错颌畸形

2.未接受过正畸治疗

4.下颌磨牙区无金属修复体

5.患者知情同意并配合

2.1.2排除标准

1.存在牙体缺损

2.存在牙列缺损

3.有颞下颌关节疾病病史

4.有牙周病病史

111111下颌骨及牙列的三维重建

1.下颌骨模型的三维重建

将拍摄完成的.dicom格式CBCT影像资料导入到Mimics26.0（Materialise，比利时）软件中

（图），对模型进行初步的三维重建，在“SEGMENT”模块中使用“New Mask”命令创建一个新的蒙版（图），将二维的影像资料转化为三维模型，使用“Split Mask”命令将牙冠与下颌骨分离开，分别对无牙冠下颌骨及分离后的牙冠转化为壳体，执行“Calculate Part”命令，将两部分模型转化为.stl格式文件并存档。

2.下颌牙列模型的三维重建

使用BlueSkyBioPlan4.1.1(Blue Sky Bio,USA)软件中的“Model Master”功能导入.dicom格式的影像资料（图），选择“Segmentation”模块中的“Automatic Tooth Segmentation”功能，

执行“Select Tooth”命令自动选中牙列分割全牙列牙齿（图）。最后将完整牙齿模型以.stl格式导出。

3.牙齿与下颌骨的配准

将上述完成初步建模的下颌骨模型，下颌牙列牙冠模型，完整下颌牙列模型一起导入到3-Matic18.0（Materialise，比利时）软件中（图），使用“Align”模块中的“N points Registration”以牙冠的牙尖及轴面最高点为配准点，将完整下牙列模型与下颌骨进行配准，使牙列位于正确的解剖位置。（图）

5.模型优化处理

在3-Matic中检查模型质量，在三维重建的过程中可能会出现重叠面及缺失面等问题，使用“Fix”模块中的“Fix Wizard”功能可自动检查模型是否存在问题（图），执行“Follow advicd”可自动对模型进行修复。同时可使用“Remesh”模块中的“Adaptive”命令重画网格，使模型更加光滑，并减少尖锐的边角，具体位置可使用“Finish”中的“Local Smoothing”命令进行光滑操作，以防止分析时出现应力集中的情况。

222222建立有限元分析模型

1.建立牙周膜及松质骨模型

因为牙周膜组织厚度较薄，难以直接进行三维重建，故通常假定牙周膜厚度为0.25mm，通过布尔运算的方式进行建模（引用），将重建完成的完整牙列模型导入到Geomagic Warp 2021 (Raindrop, 美国)软件中，使用“Offset”命令将牙体均匀向外扩大0.25mm，扩大后的牙列、正常大小的牙列及下颌骨模型导入至Ansys2021R（ANSYS，美国）的SpaceClaim子模块中，通过“工具”模块中的 “Auto Skin”命令将模型转化为可进行有限元分析的实体，先执行“组合”\*\*\*\*\*\*功能将正常牙列与下颌骨通过布尔运算获得牙槽窝，将扩大后的牙列同样通过“组合”\*\*\*\*\*功能获得牙周膜。松质骨的模型重复上述流程即可获得。

2.骨折线的设置

本研究采用下颌升支骨折的1型骨折线，即从乙状切迹至下颌角区的纵形骨折线。使用“Design”模块中，“Create”模块中的“Plane”功能，沿着骨折线的走向建立一个平面，并通过“Combine”功能，将下颌升支分割为两个部分，完成骨折线的设置。

3.建立微钛版模型

本研究采用强生公司的四孔微钛板参数作为建模数据，长度为27mm，厚度为1mm，螺孔为2mm。沿与下颌升支水平的方向建立一个平面，并使用“Sketch Mode”平面转化为草图，在草图上绘制微钛板模型的二维草图（图），运行 “Fill”命令将草图投影到骨面上，复制投影面并将两投影面通过“Blend”功能组合成为微钛版，另建立四个螺钉，利用 “Combine”功能分割微钛版得到螺钉在微钛版上的螺孔，此方法建立的微钛版可贴合与骨面，满足有限元分析的要求。

333333有限元分析

材料参数设置材料设置使用既往研究中采用的材料属性进行设置，材料参数见下图

两骨折线之间设置为摩擦接触，摩擦参数为0.3，固定双侧可图，以下颌骨中心位置作为中心点

设置施加咬合力的坐标系，分别在双侧第一磨牙上施加。。。的力，在乙状切迹处设置原点坐标系，通过计算两坐标系之间在施加载荷之后的距离，来量化相对位移的距离。

结果

在两微钛板间距逐渐增加时，相对位移逐渐减少，在间距为20cm时，相对位移为0.105789mm可以达到一期愈合的效果（表）。

讨论：

根据近年来对下颌升支骨折的研究，本研究在目前研究的基础上填补了此领域研究空白，首次使用通过计算机模拟的力学方法，对下颌升支骨折固定后，两微钛板间距对下颌升支骨折固定术术后稳定性的影响进行初步探究，阐明了两微钛板间距对骨折术后稳定性的影响。

1.有限元模型建立

Agarwal[14]将下颌升支骨折分为5个分型，Ⅰ型Ⅱ型为垂直型骨折，Ⅰ型起自乙状切迹至下颌角区，Ⅱ型为起自喙突至下颌角区；Ⅲ型为水平型骨折，起自下颌升支前缘至下颌升支后缘；Ⅳ型为斜型骨折，由下颌升支后缘延伸至下颌骨下缘；Ⅴ型骨折为粉碎性骨折。其中Ⅰ型骨折最为常见，约占全部下颌升支骨折分型的48.5%，研究设置为最常见的Ⅰ型骨折线[15,16]

ORIF是颌面部骨折常用的治疗方式，有可以对骨折进行功能性及解剖性复位；患者可以早期行使功能，便于早期维护口腔卫生等优点。故在临床工作中，选择使用ORIF手术方法的占比较大[14]。 展开

因下颌骨解剖结构存在差异，为使本研究具备普遍性，使用采用了平均长度下颌骨（引用），施加咬合力时， 文献引用 不同牙位的行使咬合功能时，所产生的咬合力不同，如前牙区的咬合力范围为100~370N，后牙区咬合力范围为50-400N[19]。上述研究中所获取的咬合力均为最大咬合力，而患者术后因为疼痛，肿胀而造成开口受限，且会嘱患者进流食，无法发挥出正常情况下的最大咬合力，故本研究选取的咬合力为轻咬合力，即咀嚼口香糖时的力，约为290N[13]有研究对两骨折块之间的相对位移与愈合的关系做了动物研究，研究表明，在一期愈合的动物中，最大相对位移为0.15，而其他未一期愈合的动物中，相对位移均超过0.15，故0.15的相对位移为一期愈合的临界值，本研究采用了此数值作为判断依据，来判断是否可以达到一期愈合，为量化两骨折块间的最大相对位移，本研究将乙状切迹骨折线处的最高点作为原点，标记在未发生位移前，骨折乙状切迹中心的两点，通过关注在施加载荷之后，这两点之间的直线距离，来判断最大相对位移的距离。

2.微钛版固定位置对稳定性的影响

Champy[17,18]首次提出了下颌角处张力带的概念，即在行使咬合功能时，骨折线上部因为咬合力的原因，会产生较大位移，为张力带，而下部会产生压缩作用，产生位移较小，为压力带，Champy在其研究中阐述了下颌角骨折的理想固定路线，由于压力带在下颌骨行使咬合功能时会被压缩，所以固定张力带便可达到理想的固定效果。有研究表明（30），无论是单发的下颌角骨折，还是多发的下颌骨骨折，在下颌角处使用Champy技术，都能获得满意的固定效果。有学者报道了一例下颌角粉碎性骨折使用Champy技术固定的病例，术后6月后咬合关系恢复良好，骨痂已愈合（31）。固定下颌角张力带不仅有良好的预后效果，而且同样有利于术后的美学效果，有研究表明，Champy技术可以纠正术后的颏下偏移的问题，取得良好的美学效果（32）。

综上所述，Champy技术的张力带固定理念对下颌角骨折固定效果良好，虽然下颌升支骨折的Champy技术目前已有丰富的研究成果，但下颌升支骨折的张力带并未有验证，张力带的优秀理念可以引用到下颌升支骨折的固定术中来，下颌升支骨折不同于下颌角骨折，Ⅰ类下颌升支骨折骨折线线较长，由上至下贯穿整个下颌升支，由文献指出[14]下颌升支骨折需采用两点固定法进行固定，才能达到稳定的固定效果，而在其研究中并未说明两微钛板的具体放置位置及两微钛板的间距选择。本研究设置双微钛板对骨折进行固定，并以两微钛版2mm间距为初始值，逐渐增加间距。根据本课题组实验所得出的数据，下颌升支1型骨折线在行使咬合功能时，乙状切迹处位移最大，故张力带位于乙状切迹处，而在乙状切迹下位移距离逐渐减小，代表下部为压力带，这与Champy的张力带概念一致[17,18]，上部微钛版越接近乙状切迹，即两微钛版之间的距离越大，其稳定效果越好，其原因是固定了张力带，限制了行使咬合功能时的最大位移，故增加了稳定效果。

2.下颌升支骨折愈合

骨折的愈合直接影响术后的长期治疗效果，临床上骨折的愈合方式通常分为两种，即直接愈合与间接愈合，直接愈合发生在骨折端紧密接触且固定稳定的情况下。骨折愈合过程通过直接重塑板层骨和哈弗斯系统进行，无需形成骨痂。接触愈合过程迅速，通常在几周到几个月内完成。而间接愈合间隙愈合过程先形成软骨骨痂和骨膜骨痂，然后进行血管生成、矿化、吸收和重塑，最终形成板层骨。间隙愈合过程缓慢，通常需要几个月到几年的时间才能完成。虽然二期愈合也可以完成骨折的最终愈合，但存在诸多缺点，如炎症反应明显，会增加感染几率，并可能产生明显的疼痛或不适感觉，若因愈合时间较长，拆除内固定装置不及时，还会导致应力遮盖的情况发生，导致骨折的愈合效果进一步变差。[27]

有研究表明[28]，在骨折相对位移在0.15mm以内的时候，可以达到直接愈合的效果，本研究的实验结果表明，在两微钛板间距逐渐减少时，相对位移距离也逐渐减少，在两微钛板之间的间距为20mm时，两骨折断端之间的相对位移为0.105789mm，在临床一期愈合的临界值之内，理论上骨折可以在咬合负载下完成一期愈合。

2.手术入路的选择

随着外科技术的发展，切开复位内固定术的出现，骨折的愈合效果基本得到保障，发展至今，对于手术入路的讨论已经成为了关注的焦点。

手术入路对患者的预后和面部美观至关重要，若想达到最佳固定效果，将上部微钛版固定到乙状切迹处，需要选择范围较大的手术切口，否则很难完整的暴露术区，增加手术的难度，而选择范围较大的手术切口，可能会导致面神经损伤，涎漏等并发症，并会严重影响术后的美观程度，如何尽可能的减小手术切口的同时，并达到稳定的固定效果是临床中的难点。 文献引用

这篇文章回顾性研究了 29 名患者（共 35 处骨折）采用耳后经腮腺入路进行下颌骨髁突骨折切开复位内固定的安全性及并发症。

主要研究变量是面神经麻痹，次要变量包括感染、涎漏、唾液瘘、骨折段稳定性、术后错畸形、Frey 综合征和不美观的疤痕。

结果显示，35 处骨折中，4 处（11.42%）出现暂时性面神经麻痹。

髁突颈部骨折（p=0.045）和骨折移位（p=0.026）与面神经麻痹的发生显著相关。

4 名患者（13.8%）出现轻微错畸形，2 名患者出现手术部位感染，2 名患者出现涎漏，1 名患者出现唾液瘘。 （retromandibular transparotid approach for subcondylar mandibular fracture: A

retrospective study.）

这篇文章比较了两种下颌后入路方法治疗下颌骨髁突骨折的疗效：下颌后经咬肌前腮腺入路 (RMTMAP) 和 下颌后经腮腺入路 (RMTP)。

主要发现：

RMTP 入路暴露骨折部位的速度更快 (P<0.05)。

RMTP 入路的出血量略少 (P = 0.078)，但差异不显著。

RMTP 入路暂时性面神经损伤的发生率更高 (7.8% vs 0%) (P = 0.08)。

两种入路的涎瘘、手术部位感染和瘢痕美观度等方面没有显著差异。

结论：

RMTP 入路暴露骨折部位的速度更快，但暂时性面神经损伤的发生率也更高。两种入路在其他方面没有显著差异。

研究方法：

这是一项随机对照试验，纳入了 75 名需要手术治疗的下颌骨髁突骨折患者。患者被随机分配到 RMTMAP 组或 RMTP 组。研究人员比较了两种入路的暴露时间、出血量、面神经损伤、涎瘘、手术部位感染和瘢痕美观度等指标。(Does retromandibular transparotid approach provide quicker access to fracture ofmandibular subcondyles compared to the retromandibular transmasseteric anterior

parotid approach?)

HSMA 是对传统下颌下入路 (Risdon 入路) 的一种改进，其主要区别在于：

切口位置更高： 位于下颌角皮肤投影下方 1 厘米处。

皮下向上分离： 保留颈阔肌，避免损伤面神经下颌缘支。

钝性分离咬肌： 平行于面神经纤维，并在直视下进行，最大程度地降低面神经损伤风险。

文章详细描述了 HSMA 的手术步骤，包括术前准备、标记切口、软组织切开、咬肌分离、骨折暴露、内固定和伤口闭合等。

文章回顾性分析了 13 例采用 HSMA 治疗下颌骨骨折的患者的临床资料，结果显示：

手术过程顺利，无感染发生。

平均手术时间为 89 分钟，平均住院时间为 2.9 天。

术后 1 年随访，所有患者均恢复了正常的咬合关系和下颌运动，面部形态自然平衡。

仅 1 例患者出现暂时性面神经下颌缘支功能障碍，2.4 个月后恢复正常，无永久性面瘫发生。

文章认为，HSMA 是治疗下颌骨骨折，尤其是下颌角骨折的一种安全有效的手术方法，其并发症发生率低，术后瘢痕隐蔽，患者满意度高。

文章结论：

HSMA 是一种安全有效的治疗下颌角骨折的手术方法。

HSMA 的并发症发生率低，术后瘢痕隐蔽。

需要进一步的临床研究来评估和推广 HSMA

Analysis of the High Submandibular Approach: A Critical Reappraisal of a Transfacial Access to the Mandibular Skeleton

结论：

（Accessibility of Mandibular Subcondylar Fracture with Transparotid Approach via Rhytidectomy and Modified Risdon Approach: An Anatomical Comparative Study）

下颌升支骨折的治疗中，可以选择多种手术入路，如下颌下入路(Risdon入路)，下颌后经咬肌入路及下颌后经腮腺入路[14]。Hinds[20]在1967年首次提出了下颌后经腮腺入路，此后报道了不同改良型入路方法，经咬肌，经后腮腺等多种方法。下颌后入路设计在手术时暴露骨面前需要剥离腮腺鞘，解剖腮腺，并分离保护面神经，因为术中需要对上述重要解剖结构进行牵拉及分离，所以术后并发症的发生率相对较高。有研究报道下颌后入路的术后面神经损伤率高达38%-40%，并有1%的病例会出现永久性面神经损伤的情况[21]。Risdon[22]首次描述了Risdon入路，后被Meyer[23]改良。此入路方式切口更加隐蔽，且不容易出现神经损伤的症状。Prabhu[24]发现使用Risdon入路方法时，仅有16.6%的病例出现了神经损伤的症状，Mehra[25]同样选择Risdon入路设计治疗下颌骨骨折，术后发生神经损伤的病例为23%。

Robin通过标本解剖对比的方式对改良Risdon入路和经腮腺入路 进行对比，主要对比了这两种手术入路对髁突骨折的暴露范围，对12个头骨标本进行解剖学研究，并设置了0～100的综合评分标准来衡量暴露效果及手术时解剖位点的可及性，改良Risdon入路的平均评分为55.88，即55.88%的可及区域与所需区域吻合。经腮腺入路的平均评分为91.05，即91.05%的可及区域与所需区域吻合。两种技术之间的评分差异具有统计学意义 (p < 0.001)经腮腺炎入路在治疗下颌骨髁突下骨折方面似乎更有效，尤其是在治疗高髁突骨折时。与改良Risdon入路相比，经腮腺炎入路 提供了更大的可及区域，从而更容易进行骨折复位和内固定。然而，经腮腺炎入路对于治疗低髁突骨折可能比较困难，并且存在腮腺瘘的风险。而对于下颌升支骨折来说，如将上部微钛板固定到乙状切迹处，则需使用经腮腺入路，方可获得完整的暴露范围，而使用此种入路方式，会导致更高的并发症发生率及

使用Risdom入路对乙状切迹处暴露效果较差， 由此可见，Risdon入路的术后并发症发生率更低。Mehra[26]对比了下颌后入路与Risdon入路的暴露范围，统计学结果有显著差异，Risdon入路对乙状切迹位及髁突基底部暴露效果不佳，难以获得足够的暴露范围。

在临床中，术者希望尽量减小患者的切口，以达到美观及减少术后并发症的目的，两微钛板之间的距离过大会导致手术入路的选择发生改变，在能达到最佳术后愈合标准的前提下，尽量减少微钛板的间距可改变手术入路的选择。

4.研究的局限性

本研究存在一定的局限性，在真实的情况下，颌面部还存在肌肉，韧带，腮腺和皮肤等软组织，对术后骨折块的位移产生一定的限制作用，生物力学环境极为复杂，有限元分析难以完全模拟真实情况，本研究使用了极大值的思想，即设置一个偏大的咬合力，在偏大的咬合力并且未模拟软组织的情况下得出的理论值，在真实情况下相对位移数值会偏小，即在有限元分析中得出的双微钛板间距20mm时相对位移为0.105789mm，在临床实际情况下相对位移数值会更小。

此研究作为下颌升支骨折固定术的前期研究，通过计算机模拟的方式从力学的角度研究两微钛板之间距离对术后稳定性的影响，并探寻一个可以达到临床一期愈合的临界值，仅作为初期实验，初步对固定方法进行分析，此结论还需要临床进一步验证，本课题组还将在后续的研究中进一步进行体外模型实验，并从临床的角度去验证此结论。

结论

1.本研究使用有限元分析的方法，研究双微钛板间距对下颌升支术后稳定性的影响，研究结果表明，双微钛板间距增加时，骨折术后行使咬合功能时相对位移减小，稳定性更高。

2.在两微钛板间距为20mm时，可以达到一期愈合的临界值，在临床手术设计中可设置20mm的间距值，以获得一期愈合的效果。

\*\*参考文献

\1.Pickrell,B.B.;Serebrakian,A.T.;Maricevich,R.S.,MandibleFractures. SeminPlastSurg **2017,** 31,(2),100-107.

\2.Boole,J.R.;Holtel,M.;Amoroso,P.;Yore,M.,5196mandiblefracturesamong4381activedutyarmysoldiers,1980to1998. Laryngoscope **2001,** 111,(10),1691-6.

\3.Olson,R.A.;Fonseca,R.J.;Zeitler,D.L.;Osbon,D.B.,Fracturesofthemandible:areviewof580cases. JOralMaxillofacSurg **1982,** 40,(1),23-8.

\4.Subhashraj,K.;Nandakumar,N.;Ravindran,C.,ReviewofmaxillofacialinjuriesinChennai,India:astudyof2748cases. BrJOralMaxillofacSurg **2007,** 45,(8),637-9.

\5.Barde,D.H.;Mudhol,A.;Ali,F.M.;Madan,R.S.;Kar,S.;Ustaad,F.,Efficacyof3-DimensionalplatesoverChampysminiplatesinmandibularanteriorfractures. JIntOralHealth **2014,** 6,(1),20-6.

\6.Welch-Phillips,A.;Gibbons,D.;Ahern,D.P.;Butler,J.S.,WhatIsFiniteElementAnalysis? ClinSpineSurg **2020,** 33,(8),323-324.

\7.Friedenberg,R.,"Directanalysis"or"finiteelementanalysis"inbiology:anewcomputerapproach. CurrModBiol **1969,** 3,(2),89-94.

\8.Thresher,R.W.;Saito,G.E.,Thestressanalysisofhumanteeth. JBiomech **1973,** 6,(5),443-9.

\9.Sancar,B.;Çetiner,Y.;Dayı,E.,Evaluationofthepatternoffractureformationfromtraumatothehumanmandiblewithfiniteelementanalysis.Part2:Thecorpusandtheangleregions. DentTraumatol **2023,** 39,(5),437-447.

\10.Li,Y.;Li,H.;Lai,Q.;Xue,R.;Zhu,K.;Deng,Y.,Finiteelementanalysisof3D-printedpersonalizedtitaniumplatesformandibularanglefracture. ComputMethodsBiomechBiomedEngin **2023,** 26,(1),78-89.

\11.Coyac,B.R.;Salvi,G.;Leahy,B.;Li,Z.;Salmon,B.;Hoffmann,W.;Helms,J.A.,Anovelsystemexploitsbonedebrisforimplantosseointegration. JPeriodontol **2021,** 92,(5),716-726.

\12.Solberg,K.;Heinemann,F.;Pellikaan,P.;Keilig,L.;Stark,H.;Bourauel,C.;Hasan,I.,Finiteelementanalysisofdifferentloadingconditionsforimplant-supportedoverdenturessupportedbyconventionalorminiimplants. ComputMethodsBiomechBiomedEngin **2017,** 20,(7),770-782.

\13.Hagberg,C.,Electromyographyandbiteforcestudiesofmuscularfunctionanddysfunctioninmasticatorymuscles. SwedDentJSuppl **1986,** 37,1-64.

\14.Agarwal,P.;Mehrotra,D.,MandibularRamusFractures:AProposedClassification. CraniomaxillofacTraumaReconstr **2020,** 13,(1),9-14.

\15.Jadhav,A.;Mundada,B.;Deshmukh,R.;Bhutekar,U.;Kala,A.;Waghwani,K.;Mishra,A.,MandibularRamusFracture:AnOverviewofRareAnatomicalSubsite. PlastSurgInt **2015,** 2015,954314.

\16.Kale,T.P.;Kotrashetti,S.M.;Louis,A.;Lingaraj,J.B.;Sarvesh,B.U.,Mandibularramusfractures:ararity. JContempDentPract **2013,** 14,(1),39-42.

\17.Champy,M.;Lodde,J.P.,[Mandibularsynthesis.Placementofthesynthesisasafunctionofmandibularstress]. RevStomatolChirMaxillofac **1976,** 77,(8),971-6.

\18.Champy,M.;Wilk,A.;Schnebelen,J.M.,[TretmentofmandibularfracturesbymeansofosteosynthesiswithoutintermaxillaryimmobilizationaccordingtoF.X.Michelet'stechnic]. ZahnMundKieferheilkdZentralbl **1975,** 63,(4),339-41.

\19.Paphangkorakit,J.;Osborn,J.W.,Theeffectofpressureonamaximumincisalbiteforceinman. ArchOralBiol **1997,** 42,(1),11-7.

\20.Hinds,E.C.;Girotti,W.J.,Verticalsubcondylarosteotomy:areappraisal. OralSurgOralMedOralPathol **1967,** 24,(2),164-70.

\21.Manisali,M.;Amin,M.;Aghabeigi,B.;Newman,L.,Retromandibularapproachtothemandibularcondyle:aclinicalandcadavericstudy. IntJOralMaxillofacSurg **2003,** 32,(3),253-6.

\22.Risdon,F.,TheTreatmentofFracturesoftheJaws. CanMedAssocJ **1929,** 20,(3),260-2.

\23.Meyer,C.;Zink,S.;Wilk,A.,[ModifiedRisdonapproachforthetreatmentofsubcondylarfracturesofthemandible]. RevStomatolChirMaxillofac **2006,** 107,(6),449-54.

\24.Prabhu,R.K.;Sinha,R.;Chowdhury,S.K.;Chattopadhyay,P.K.,Evaluationoffacialnervefunctionfollowingsurgicalapproachesformaxillofacialtrauma. AnnMaxillofacSurg **2012,** 2,(1),36-40.

\25.Mehra,P.;Murad,H.,Internalfixationofmandibularanglefractures:acomparisonof2techniques. JOralMaxillofacSurg **2008,** 66,(11),2254-60.

\26.Ruiz,R.;Schlund,M.;Raoul,G.;Kyheng,M.;Fontaine,C.;Nicot,R.,MandibularsubcondylarfractureaccessibilitywithtransparotidapproachbyrhytidectomyandmodifiedRisdonapproach:Ananatomicalcomparativestudy. JCraniomaxillofacSurg **2018,** 46,(12),2256-2260.

\27.Marsell,R.;Einhorn,T.A.,Thebiologyoffracturehealing. Injury **2011,** 42,(6),551-5.

\28.Claes,L.;Augat,P.;Suger,G.;Wilke,H.J.,Influenceofsizeandstabilityoftheosteotomygaponthesuccessoffracturehealing. JOrthopRes **1997,** 15,(4),577-84.

29 IMF Screw Morbidity In Treatment of Mandibular Fractures – A Retrospective Study

30.Analysis of Complication in Mandibular Angle Fracture: Champy Technique Versus Rigid Fixation

31.Treatment of Comminuted Mandibular Angle Fractures Using Champy Technique

32.Outcomes and Craniometric Analyses of the Champy Technique in the Treatment of Mandibular Angle Fractures: A Retrospective Study

33.Parameter optimization in a finite element mandibular fracture fixation

model using the design of experiments approach

34. Accessibility of Mandibular Subcondylar Fracture with Transparotid Approach via Rhytidectomy and Modified Risdon Approach: An Anatomical Comparative Study

一期愈合相关待检索Combination of secondary intention healing and primary closure to reconstruct large facial defects

一期愈合恢复效果好，感染无统计学差异，但是愈合效果好，Primary Closure or Secondary Wound Healing of Pin Sites After External Fixator Removal: A Single-Center Blinded Randomized Controlled Trial

提到了OA学会的四项基本原则，并提出了保留血肿有助于骨折愈合的观点The haematoma and its role in bone healing

提到二期愈合与机械因素关系很大，计算机模拟技术有助于研究愈合相关问题Mechanobiology of indirect bone fracture healing under conditions of relative stability: a narrative review for the practicing clinician

关于二期愈合的力学实验，探究什么力是适合的，体外实验，可以放到介绍当中Disadvantages of interfragmentary shear on fracture healing--mechanical insights through numerical simulation