

3D打印导板辅助骨盆后环骨折骶髂螺钉置入的研究进展

李汉峰¹, 刘东², 陈林², 王志强^{2*}

¹成都中医药大学医学与生命科学学院, 四川 成都

²遂宁市中心医院创伤骨科, 四川 遂宁

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年3月23日; 发布日期: 2026年3月31日

摘要

骨盆骨折多为高能量损伤所致, 尤其后环骨折对骨盆稳定性影响显著。传统切开复位创伤大、并发症多, 而经皮骶髂螺钉技术具有微创、恢复快等优势, 但徒手置钉受限于解剖变异、透视依赖与学习曲线长等问题。近年来, 3D打印导板技术为骨盆骨折的精准微创治疗提供了新的解决方案。本文主要对3D打印导板在骨盆骨折内固定中的应用现状、设计类型、临床效果及发展方向作一综述。

关键词

骨盆骨折, 3D打印, 导板设计

Research Progress on 3D-Printed Guides for Assisting Sacroiliac Screw Placement in Posterior Pelvic Ring Fractures

Hanfeng Li¹, Dong Liu², Lin Chen², Zhiqiang Wang^{2*}

¹School of Medical and Life Sciences, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu Sichuan

²Department of Orthopedic Trauma, Suining Central Hospital, Suining Sichuan

Received: February 28, 2026; accepted: March 23, 2026; published: March 31, 2026

Abstract

Pelvic fractures are mostly caused by high-energy trauma, and posterior ring fractures in particular

*通讯作者。

文章引用: 李汉峰, 刘东, 陈林, 王志强. 3D 打印导板辅助骨盆后环骨折骶髂螺钉置入的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 283-290. DOI: 10.12677/acm.2026.1641250

have a significant impact on pelvic stability. Traditional open reduction is associated with extensive trauma and numerous complications. In contrast, percutaneous sacroiliac screw techniques offer advantages such as minimally invasive procedures and faster recovery. However, freehand screw placement is often challenging due to anatomical variations, reliance on fluoroscopy, and a steep learning curve. In recent years, 3D-printed guide plate technology has emerged as a novel solution for achieving precise, minimally invasive treatment of pelvic fractures. This article reviews the current application status, design types, clinical outcomes, and future development directions of 3D-printed guides in the internal fixation of pelvic fractures.

Keywords

Pelvic Fracture, 3D Printing, Guide Design

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

骨盆骨折占有骨折病例的 1.5% [1]。其中后环骨折占骨盆稳定性的 60%，治疗不当易导致慢性疼痛、步态异常甚至神经功能障碍[2]。传统切开复位内固定手术创伤大、出血多，尤其对于多发伤患者风险较高[3]。而且，由于骨盆解剖的个体差异，没有统一的塑形钢板，在手术过程中，需要对钢板进行塑形，增加了手术时间和透视次数。在骨折复位固定的同时，尽量减少手术难度，减少并发症的发生，是目前研究的热点。经皮骶髂螺钉固定技术自上世纪 90 年代推广以来，已成为治疗不稳定骨盆后环骨折的重要微创手段[4]。然而，骶骨形态复杂、个体变异大(约 30% 存在骶骨发育异常)，徒手置钉需反复透视调整，不仅延长手术时间，还增加医患辐射暴露及神经血管损伤风险[5]。并且仅依靠术中 C 臂确定螺钉方位，很容易受到患者脏器与脂肪的干扰，难以获得清晰的成像，这对肥胖患者更加明显。国内外学者对置钉技术进行了大量的探索和实践，例如使用机器人导航、O 型臂术中导航、术中 CT 等技术辅助置钉，这些先进技术都具备手术创伤小，操作时间短，螺钉置入方向准确等优点，大大降低了术中对神经血管的损伤风险，但由于操作系统价格昂贵，基层医院难以普及，学习曲线长，制约了这些技术的推广应用[6] [7]。

近年来，数字骨科与 3D 打印技术的融合为骨盆骨折的个性化、精准化治疗提供了新途径[8]。3D 打印技术具有高精度、低成本、个性化、精准化的优势，为创伤骨折治疗模式带来新的变革。此外，3D 打印技术可制作各种典型或不典型创伤性骨折模型，可进行术前手术模拟，帮助医生更好地理解创伤骨折治疗的病理、生理及生物力学特性和手术技术。术前 CT 数据重建、虚拟规划与导板打印，可实现术中“导航”式置钉，显著提升手术精度与安全性[9]。本文旨在系统回顾 3D 打印导板在骨盆骨折内固定中的应用进展，探讨各类导板优势与局限。

2. 导板的设计与打印

术前将患者 CT 数据导入 Mimics 软件，重建出骨盆三维模型和皮肤三维模型，在骨盆三维模型上以直径 6.5 mm (骶骨安全隧道一般在 7~8 mm 左右)的圆柱体虚拟通道螺钉，调节圆柱体位置，使其位于骶髂螺钉骨性通道最佳位置，在 CT 冠状位，矢状位，横断位观察虚拟通道螺钉的空间位置，避免任一视图穿出骨皮质。测量虚拟通道的直径，长度及透视角度。计算机辅助设计和 3D 打印制作导板：将带有虚拟

通道螺钉的骨盆及皮肤三维模型导入图像处理软件(Mimics), 结合布尔运算生成贴服骨盆表面的导板底座, 延伸导板, 利用皮肤模型, 再次导入虚拟通道和定位针数据, 再通过布尔运算得到带有定位和导向套筒的个性化导板。将导板数据导入软件, 采用医用光敏树脂材料, 激光快速打印, 并消毒灭菌备用。

3. 导板手术过程

充分暴露导板固定导板的骨面, 将导板稳定贴附于已暴露的骨面, 经导板定位孔, 使用电钻置入克氏针对导板进行临时固定。C 臂透视骨盆入口位、出口位确认导针进针点及方向理想, 则骨锤敲击导针进入髌骨及髌髌关节, 再次 C 臂透视入口位、出口位, 若导针位置理想, 再次敲击导针, 经过髌孔区域, 再次透视, 确认导针位置理想。确认导针位置理想后, 在已建立的髌骨安全通道内, 沿导针拧入长度和直径适宜的空心螺钉, 置入后再次行 C 臂透视, 确认螺钉最终位置满意。若沿导板导向孔置入导针 C 臂透视发现导针位置不理想, 则去除导板, C 臂透视下调整导针至位置理想, 再置入螺钉。

4. 导板的安全性与准确性

导板手术常与 C 臂透视下徒手置钉作比较, 用于对比导板在置钉时间、C 臂透视次数、导针调整次数及术后并发症等安全性指标上的优势; 国际上常采用 Matta 评分[10]评估骨盆复位质量, Smith 评级[11]评估螺钉置入优良率来比较导板的准确性。王等人[12]对多项使用 3D 打印导板辅助置入髌髌螺钉与传统 C 臂透视下徒手置钉的疗效与安全性前瞻性研究作 meta 分析, 在这项研究中, 各机构使用的 3D 打印导板在设计理念和应用方式都有所不同, 但均得到导板组在手术时间、C 臂透视次数以及 Matta 评分上均有明显优势。本文主要对各种目前国内学者设计的导板在设计上应用现状、设计类型、临床效果及发展方向作一综述。

5. 体内贴骨导板

体内贴骨导板, 特指那些直接贴合于髌后上棘等骨盆后方骨性标志进行固定的导板, 是 3D 打印导板技术在骨盆后环固定中的早期应用形式(见图 1)。这类导板的设计理念源于对骨盆后环解剖结构的直接利用, 通过在患者俯卧位下将导板紧密贴附于髌后上棘及邻近的髌骨外板, 为髌髌螺钉的置入提供稳定的机械引导。有诸多学者设计了定位-导向一体化导板, 以髌后上棘明显标志为定位点, 能达到比徒手置钉更高的准确性[13]-[15]。但由于导向套筒通常设计的较长, 为减少皮肤张力对导板放置精确性的影响, 这种底座和套筒集成的设计往往需要大切口才能将底座安置, 且在置入多枚螺钉时, 由于每个螺钉的方向不一致, 在插入导针后很难取出底座, 所以为置入多枚螺钉可能会设计两个以上导板, 这进一步增加了创伤。为解决以上问题, 吴超等学者开发出可拆卸的内外套筒、导板组件, 其底座和导向套筒设计为可拆卸并在切口处组装, 减少了皮肤张力带来的影响。在插入导针和放置螺钉后, 可以拆卸导板, 该导板减少了传统多螺钉放置带来的创伤, 可以在不更换底座的情况下置入多个螺钉[16]。他们的研究证实, 此类导板能够显著提高髌髌螺钉的置入准确性, 将导针的一次性置入成功率提升至较高水平, 同时有效减少术中透视次数和导针调整频率。相较于其他类型的导板, 体内导板核心优势在于贴合面位于手术区域附近, 力臂短, 理论上减少了术中因导板移位或形变导致的误差。

然而, 无论何种体内导板都有难以避免的局限性, 在剥离髌后部的肌肉时可能会损伤臀上动脉及神经等重要组织, 且髌后棘周围软组织多, 术中难以剥离干净, 残留的软组织可能影响底座贴附精确度。而其核心缺陷在于手术体位的限制: 患者必须采取俯卧位进行髌髌螺钉的置入操作。仅后环骨折在骨盆骨折中很少见, 后环骨折通常合并前环骨折。因此, 对于大多数骨盆骨折, 前环应与后环同时固定。这对于多数合并前环骨折(如耻骨支骨折)需要同期固定的患者而言, 意味着术中必须进行复杂的体位翻转——先俯卧位完成后环固定, 再转为仰卧位进行前环手术。这一过程不仅延长了手术总时间, 增加了麻醉风

险,还可能因体位变动导致已复位的骨折块再次移位,为手术带来了额外的复杂性与不确定性。因此,尽管髂后上棘贴骨导板在精准性上取得了突破,但其对手术流程的干扰限制了其在多发性骨盆骨折治疗中的广泛应用。



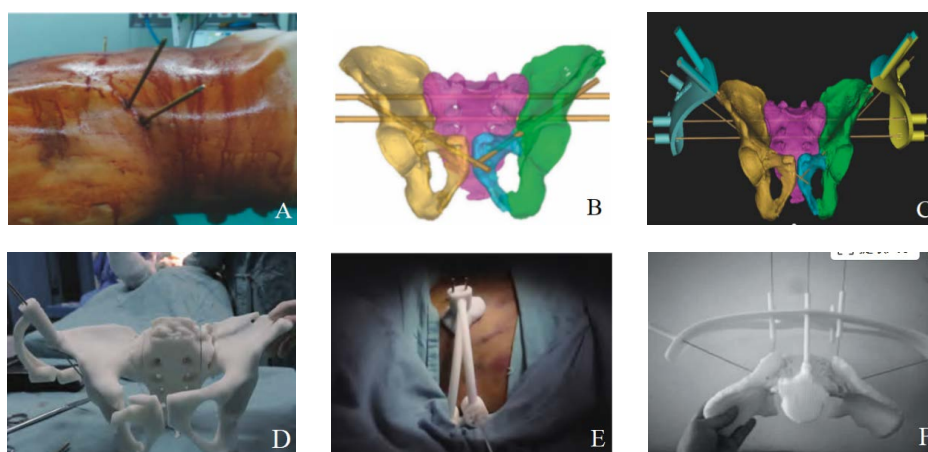
(A)和(B): You 等人设计的体内定位 - 导向一体化导板; (C): 吴超等人设计的可拆卸式体内导板。

Figure 1. Design of internal guide plate

图 1. 体内导板的设计

6. 体外导板

体外导板代表了另一种设计思路,其特点是不直接贴合于目标骨面,而是以预先经皮置入髂棘的外固定针作为支撑结构,将带有导向孔的导板组件固定于体外。这种设计的初衷是追求极致的微创性,避免为安放导板而做任何附加切口,完全通过经皮操作完成(见图 2)。郭晓东团队的研究是此类技术的典型代表[17][18],他们开发了钝端克氏针技术结合 3D 打印外导板技术,在急诊局麻下于患侧髂棘置入两枚外固定克氏针以作为固定导板的底座,以此底座通过逆向工程软件设计带有导向套筒的导板,实现了在不切开皮肤的情况下引导螺钉置入,为防止克氏针尖端造成可能存在的神经血管损伤风险,他们还在确定导针通过骶髂关节后倒转导针,使用钝端结合“锤击技术”缓慢锤入导针。然而用作外固定架的克氏针通常是 2.5 mm 直径,在术中反复使用电钻调整导针的方位时很容易使外固定针发生微小形变,从而影响导板的精确性。盛斌等人设计了体外贴皮导板[19],其原理与郭晓东团队设计的导板相似,区别在于导板底座不仅由两根外固定针固定,还贴附于髂前上棘骨性标志突起处的皮肤,增加了固定锚点,使得导板位移量更小,贴皮导板要求患者术前 CT 扫描体位与手术体位保持一致,以减少软组织形变造成的误差,但患者腹部呼吸运动仍会使导板在垂直位置发生移动,这可能会造成不可避免的误差。



(A)~(C): 郭晓东团队以体外克氏针为底座设计的导板; (D): 盛斌等人的体外贴皮导板; (E): 张仕剑等人的腰围状翼面体外导板。

Figure 2. Design of external guide plate

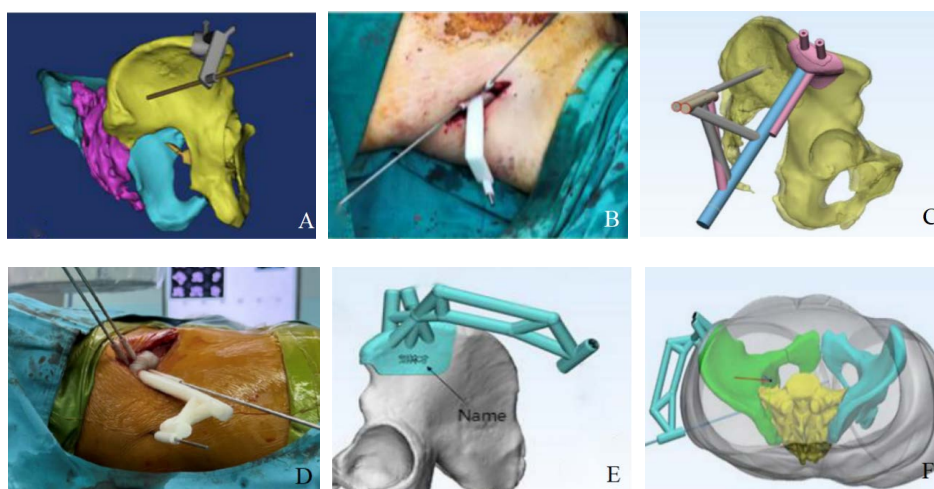
图 2. 体外导板的设计

这类体外导板技术也在张仕剑等人的研究中被报道[20],他们称之为“点式接触导板”,选取第5腰椎棘突、双侧髂后上棘3个定位点,延伸为定位导孔,设计腰围状翼面为连接各导孔的导板主体,该导板同时固定两侧骨折,使用多个定位导针固定导板也能使术中导板底座移位程度尽可能的少,但是其具有无法固定前环的缺陷。体外导板的最大优势在于避免了额外的软组织剥离,理论上进一步减少了手术创伤、出血量以及潜在的切口感染风险。

然而,这种“微创”优势的背后伴随着一系列不容忽视的局限性。首先,它需要一次额外的侵入性操作——即为了安装导板而预先置入作为基座的外固定克氏针。这不仅增加了手术步骤,还可能引入针道感染、固定针松动甚至断裂的风险[21]。其次,其适应症相对狭窄,对于髂骨翼本身有骨折的患者很容易影响导板的精度,对于不需要外固定架的患者有潜在的医患沟通困难。更重要的是,由于引导结构完全位于体外,力臂长且缺乏与骨骼的直接刚性连接,导板在术中更容易受到患者体位变动、术者操作力度或软组织阻力的干扰,存在较高的弹性形变或移位风险,可能最终影响置钉的精度。因此,体外导板虽然体现了鲜明的微创理念,但其在稳定性、适应症和操作可靠性方面的局限,使其临床应用受到一定制约。

7. 半贴骨导板

为了克服体内导板体位受限和体外导板稳定性不足、适应症窄的缺陷,刘松相等人设计出了于髂骨结节处贴骨、导板延伸至体外的半贴骨导板[22](见图3),其底座部分像体内导板一样,通过一个有限的切口(通常约4~5厘米)暴露并贴附于髂前骨结节及邻近的髂骨臀面外板,获得稳定的骨性锚定;而其导向臂则从贴合处延伸出来,跨越体表软组织,将导向孔精准定位至预定的骶髂螺钉进钉点区域。这种“一端贴骨、一端悬空”的混合结构,使其兼具了体内导板的稳定性和体外导板的灵活性与便利性。其优势在于实现了仰卧位下的一体化手术:患者全程保持仰卧位,术者可在同一次消毒铺巾、同一个体位下,先后或同期完成骨盆前环(如使用INFIX或耻骨支螺钉)与后环(骶髂螺钉)的固定,彻底避免了术中繁琐而危险的体位变换,优化了手术流程,缩短了总手术时间,尤其适用于Tile B/C型等前后环联合损伤的病例。然而刘松相等人设计的导板较为简易,仅有一个垂直向上的导向臂连接导向套筒至骶髂区域,无法安置多枚螺钉,且他们使用的导板例数较少,该导板的优势体现不明显。



(A)和(B):刘松相等人设计的以髂骨结节为贴附点的半贴骨导板;(C)和(D):赵等人设计的半贴骨导板;(E)和(F):刘东等学者设计的以髂前上棘为贴附点的三维贴骨导板。

Figure 3. Design of semi-fenestrated guide plate

图3. 半贴骨导板的设计

赵等人[23][24]设计了相同理念的导板,其底座设计的更加贴合髌骨结节,额外增加了一个定位套筒和一个固定杆,使得底座与骨面贴附更稳定,固定杆上延伸出相互交叉的连接杆连接 S1、S2 螺钉导向套筒,再将两个 S1、S2 螺钉导向套筒焊接成一体,使得两个连接杆、导向套筒和固定杆构成一个稳定的三角形,极大的增加了置钉的精度。在他们的研究中,导板组 24 枚螺钉相较对照组 18 枚螺钉的螺钉错位率、透视时间和置钉时间显著降低。

相较于髌骨结节贴骨导板,刘东等学者[25]设计出了髌前上棘三维贴骨导板,髌前上棘相对于髌骨结节具有更加明显的骨性标志,且个体差异小。相较于髌骨结节导板两面贴附,髌前上棘三维贴骨导板设计出三面贴附,其导板底座前表面与髌前上棘前方贴附,导板上表面髌缘上方贴附,外表面与髌骨外板贴附,三个平面共同作用使导板不同于以往研究中双骨面配合的骨导板底座,具有更高的骨面适配性。他们设计的连接臂摒弃了单杆弧形连接的简单结构,而采用了双杆连接。利用三角形具有稳定性的原理,在双杆结构之间增加多个三角形,以增加连接装置的稳定性。尽管为贴合导板需做小切口导致术中出血量增多,但该切口常可与前环固定的切口部分融合(如 INFIX 切口),并未显著增加总创伤。此外,通过精细解剖分离,股外侧皮神经损伤的风险亦可得到有效控制。考虑到耻骨通道狭窄,置入螺钉困难,特别是顺行置入髌骨支螺钉,因为髌骨外板限制电钻改变方向,置钉角度太小,刘东等学者还在原有导板的基础上设计集成了顺行耻骨支螺钉通道,设计个性化导向套筒,使导板的功能更具多元化。这项集成设计也被运用于刘峰等人的半贴骨导板中[26]。总体而言,半贴骨导板通过创新的设计,在手术体位、操作流程、精准性与微创性之间找到了一个优异的平衡点,代表了当前 3D 打印骨盆导板技术的一个重要发展方向,具有很高的临床推广价值。

8. 导板设计的发展方向与展望

相较于传统徒手 C 臂透视下置钉,3D 打印导板通过减少对透视的依赖、提高螺钉放置的准确性以及潜在地缩短手术时间而提供显著的优势。由于其创伤小、固定可靠、疗效与传统切开钢板螺钉相当,已成为治疗骨盆后环骨折的标准技术[27]。微创理念的革新,是体内导板-体外导板-半贴骨导板的发展,是手术的难度的降低与导板的精确性增加的发展。

目前的导板技术仍面临多种挑战,多项研究中表明使用导板置钉术后实际螺钉与虚拟螺钉的尖端、进钉点与偏差角度都高于使用三维 CT 透视导航、计算机导航等技术[23][25][28][29],这可能涉及到以下原因:① 术中骨面软组织难以完全剥离干净以适配导板;② 对于肥胖患者,导针在穿行于臀部肌肉时难免会受到软组织的干扰导致产生一定量的偏移;③ 导针在穿行至骨面时尖端易与光滑的骨面产生滑动;④ 使用长力臂导板时,力臂容易发生材料上的形变。⑤ 针对骨折严重移位的患者,术前模拟骨折复位时难以与术中实际复位一致,可能造成导板的不适配。

针对这些问题,我们总结了目前各种导板设计人员的应对思路:① 选取软组织附着较少的髌前上棘处作底座贴附部位,采用盛斌和郭晓东等人[18][19]设计的“梅花样”导向孔置入导针,在导针产生可能的偏移时更换临近处的导向孔,微调导针以寻找正确的进针点。② 延长导向套筒,甚至将套筒延伸直达骨面,形成一个包围导针的“皮下硬性隧道”。③ 为避免滑动,设计入针方向时应尽量与骨面垂直,必要时须去除皮质,使用带齿套筒保护和较粗且锐利的导针,加快转速,降低推进压力等手段消除偏移现象。④ 使用长力臂连接杆时,将连接杆设计的尽量贴附于皮肤、缩短连接杆的长度减少形变的发生、增加连接杆的横截面、将连接杆设计为立体形、设计多个三角形稳定结构以及尽量避免使用大体积导板以减少打印带来的误差。⑤ 采用镜像化设计健侧导板,导针贯穿至对侧置钉。

尽管 3D 打印导板技术优势显著,但其广泛推广仍面临两大现实挑战。① 卫生经济学评价尚不明确。3D 导板虽单次耗材成本高于徒手置钉,但远低于机器人或 O 型臂导航的数百万元设备投入,且能缩短手

术时间、减少透视及并发症，尤其适合基层医院。但其隐性成本如医工沟通、设计耗时常被低估，未来需严谨的成本-效果分析明确其适用性。② 临床转化面临法规与标准化瓶颈。作为个性化医疗器械，3D打印导板缺乏统一标准，监管层面难以界定医工协作的责任边界，审批流程难以匹配单例生产的时效需求，且从影像到设计的各环节缺乏质控体系。建立全程可追溯的质控体系是推动规范化应用的关键。

综上所述，3D打印导板结合微创与数字化骨科为一体，实现了骨科精准化、智能化、个性化、低成本的理念。目前导板手术大多是应用于身材正常或苗条的患者，未来的研究应该包括更大的肥胖患者样本。应用更加刚性的材料代替光敏树脂材料是未来的研究热点。

参考文献

- [1] Court-Brown, C.M. and Caesar, B. (2006) Epidemiology of Adult Fractures: A Review. *Injury*, **37**, 691-697. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.04.130>
- [2] van Vugt, A.B. and van Kampen, A. (2006) An Unstable Pelvic Ring. The Killing Fracture. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, **88**, 427-433. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.88b4.16693>
- [3] Khaleel, V.M., Pushpasekaran, N., Prabhu, N., Pandiyan, A. and Koshy, G.M. (2019) Posterior Tension Band Plate Osteosynthesis for Unstable Sacral Fractures: A Preliminary Study. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **10**, S106-S111. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.05.017>
- [4] Ma, Y., Zhao, Y., Zou, D., Dong, S., Sun, X., Cheng, G., et al. (2022) Breakage Risk of Different Sacroiliac Screws in Unilateral Sacral Fractures a Finite Element Analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 953. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05898-2>
- [5] Shan, T., Hanqing, L., Qiuchi, A., Junchao, X., Meitao, X., Shichang, G., et al. (2023) Guidance for Dysmorphic Sacrum Fixation with Upper Sacroiliac Screw Based on Imaging Anatomy Study: Techniques and Indications. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 536. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06655-9>
- [6] Theologis, A.A., Burch, S. and Pekmezci, M. (2016) Placement of Iliosacral Screws Using 3D Image-Guided (o-Arm) Technology and Stealth Navigation: Comparison with Traditional Fluoroscopy. *The Bone & Joint Journal*, **98**, 696-702. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.98b5.36287>
- [7] Lu, S., Yang, K., Lu, C., Wei, P., Gan, Z., Zhu, Z., et al. (2021) O-Arm Navigation for Sacroiliac Screw Placement in the Treatment for Posterior Pelvic Ring Injury. *International Orthopaedics*, **45**, 1803-1810. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04832-2>
- [8] Tabriz, A.G., Gonot-Munck, Q., Baudoux, A., Garg, V., Farnish, R., Katsamenis, O.L., et al. (2023) 3D Printing of Personalised Carvedilol Tablets Using Selective Laser Sintering. *Pharmaceutics*, **15**, Article No. 2230. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092230>
- [9] 陈林, 李磊, 兰家平, 等. 3D打印技术辅助骨盆髌臼骨折术中骶髂螺钉置入准确性及学习曲线的回顾性队列研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2024, 42(2): 213-219.
- [10] Matta, J.M. and Saucedo, T. (1989) Internal Fixation of Pelvic Ring Fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **242**, 83-97. <https://doi.org/10.1097/00003086-198905000-00009>
- [11] Smith, H.E., Yuan, P.S., Sasso, R., Papadopolous, S. and Vaccaro, A.R. (2006) An Evaluation of Image-Guided Technologies in the Placement of Percutaneous Iliosacral Screws. *Spine*, **31**, 234-238. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000194788.45002.1b>
- [12] Wang, J., Wang, X., Wang, B., Xie, L., Zheng, W., Chen, H., et al. (2020) Comparison of the Feasibility of 3D Printing Technology in the Treatment of Pelvic Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials and Prospective Comparative Studies. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **47**, 1699-1712. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01532-9>
- [13] Zhang, Y.Z., Lu, S., Xu, Y.Q., et al. (2009) Application of Navigation Template to Fixation of Sacral Fracture Using Three-Dimensional Reconstruction and Reverse Engineering Technique. *Chinese Journal of Traumatology*, **12**, 214-217.
- [14] You, M.R., Fan, Z.Q., Ye, H.M., Wang, Z., Zou, C. and Dong, X. (2022) The Design and Application of an Individualized 3D Printing Assisted Guide Plates in Assisting Sacroiliac Screws Insertion. *Computer Assisted Surgery (Abingdon, England)*, **27**, 113-119. <https://doi.org/10.1080/24699322.2022.2102542>
- [15] Zhou, W., Xia, T., Liu, Y., Cao, F., Liu, M., Liu, J., et al. (2019) Comparative Study of Sacroiliac Screw Placement Guided by 3D-Printed Template Technology and X-Ray Fluoroscopy. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **140**, 11-17. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03207-6>
- [16] Wu, C., Deng, J., Li, T., Tan, L. and Yuan, D. (2020) Combined 3D Printed Template to Guide Iliosacral Screw Insertion

- for Sacral Fracture and Dislocation: A Retrospective Analysis. *Orthopaedic Surgery*, **12**, 241-247. <https://doi.org/10.1111/os.12620>
- [17] Yang, F., Yao, S., Chen, K., Zhu, F., Xiong, Z., Ji, Y., *et al.* (2018) A Novel Patient-Specific Three-Dimensional-Printed External Template to Guide Iliosacral Screw Insertion: A Retrospective Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **19**, Article No. 397. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2320-3>
- [18] Chen, K., Yao, S., Yang, F., Drepaul, D., Telemacque, D., Zhu, F., *et al.* (2019) Minimally Invasive Screw Fixation of Unstable Pelvic Fractures Using the “Blunt End” Kirschner Wire Technique Assisted by 3D Printed External Template. *BioMed Research International*, **2019**, Article ID: 1524908. <https://doi.org/10.1155/2019/1524908>
- [19] 盛斌, 刘超, 王奕威, 等. 3D 打印贴皮蜂窝头导板辅助骶髂螺钉植入治疗骨盆后环骨折的临床疗效[J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38(11): 1317-1324.
- [20] 张仕剑, 祝茂松, 夏进先, 等. 3D 打印点式接触导板辅助骶髂螺钉经皮微创置入一例[J]. 临床外科杂志, 2020, 28(10): 923-925.
- [21] Rozbruch, S.R., Kazmers, N.H. and Fragomen, A.T. (2016) Prevention of Pin Site Infection in External Fixation: A Review of the Literature. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, **11**, 75-85. <https://doi.org/10.1007/s11751-016-0256-4>
- [22] 刘松相. 新型 3D 打印“半贴骨导板”辅助经皮骶髂螺钉置入的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2020.
- [23] Zhao, P., Wang, X., Guan, J., *et al.* (2023) Preoperative Virtual Iliosacral Screw Combined with Individualized 3D Printing Navigation Template for Accurate Treatment of Posterior Pelvic Ring Injury in a Clinical Study.
- [24] Zhao, P., Liu, L., Chen, J., Li, R., Wang, X. and Wu, M. (2025) An Investigation to the Clinical Application of Personalized 3D Printed Guides Combined with Preoperative Virtual Iliosacral Screws for the Management of Posterior Pelvic Ring Injury. *BMC Surgery*, **25**, Article No. 438. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-03193-0>
- [25] Chen, L., Luo, L., Zhang, X., Li, L. and Liu, D. (2025) Clinical Efficacy Analysis of Anterior Superior Iliac Spine 3D-Printed Guide Plate-Assisted Sacroiliac Screw Placement for the Treatment of Pelvic Fractures. *Frontiers in Surgery*, **12**, Article ID: 1644194. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2025.1644194>
- [26] 刘峰, 雷青, 蔡立宏, 等. 改良经皮三维打印导板与传统透视辅助骶髂螺钉固定骨盆后环骨折的疗效比较[J]. 中南大学学报(医学版), 2023, 48(11): 1703-1710.
- [27] Timmer, R.A., Verhage, S.M., Krijnen, P., Meylaerts, S.A.G. and Schipper, I.B. (2022) Indications for Surgical Fixation of Low-Energy Pelvic Ring Fractures in Elderly: A Systematic Review. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **143**, 2417-2428. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04438-w>
- [28] Takeba, J., Umakoshi, K., Kikuchi, S., Matsumoto, H., Annen, S., Moriyama, N., *et al.* (2017) Accuracy of Screw Fixation Using the O-Arm® and Stealthstation® Navigation System for Unstable Pelvic Ring Fractures. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, **28**, 431-438. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-2075-9>
- [29] Takao, M., Nishii, T., Sakai, T., Yoshikawa, H. and Sugano, N. (2014) Iliosacral Screw Insertion Using CT-3D-Fluoroscopy Matching Navigation. *Injury*, **45**, 988-994. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.01.015>