

膝关节冠状面对线分型(CPAK)的研究进展

成佳, 周桢黎, 孙志航, 鲁宁*

昆明医科大学第二附属医院骨科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年2月13日; 录用日期: 2026年3月6日; 发布日期: 2026年3月17日

摘要

膝关节冠状面对线(CPAK)分型通过算术髌-膝-踝角(aHKA)与关节线倾斜度(JLO)将膝关节冠状面对线分为九种表型, 为膝关节置换的个体化对线提供了标准化评估工具。本文综述其分型方法、分布及在全膝、单髁置换与截骨术中的应用。现有证据显示, CPAK分型在指导对线策略选择方面具有参考价值, 但其与术后临床结局的关联尚不一致, 且该系统仅涵盖冠状面, 未整合三维对线与软组织因素。未来需结合多维评估体系开展前瞻性研究, 以推动个体化膝关节重建的发展。

关键词

膝关节冠状面对线, 结构性对线, 全膝关节置换术

Research Progress of the Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) Classification

Jia Cheng, Anli Zhou, Zhihang Sun, Ning Lu*

Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: February 13, 2026; accepted: March 6, 2026; published: March 17, 2026

Abstract

The CPAK classification divides coronal knee alignment into nine phenotypes based on the arithmetic hip-knee-ankle angle (aHKA) and joint line obliquity (JLO), providing a standardized tool for assessing patient-specific alignment in knee arthroplasty. This review outlines its methodology, distribution, and applications in total knee arthroplasty (TKA), unicompartmental knee arthroplasty (UKA), and osteotomy. Current evidence suggests that the CPAK classification is useful in guiding alignment strategy selection; however, its association with postoperative clinical outcomes remains inconsistent. Moreover, the system is limited to the coronal plane and does not incorporate

*通讯作者。

文章引用: 成佳, 周桢黎, 孙志航, 鲁宁. 膝关节冠状面对线分型(CPAK)的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 2940-2950. DOI: 10.12677/acm.2026.1631097

three-dimensional alignment or soft-tissue factors. Future prospective studies integrating multidimensional assessment are needed to advance individualized knee reconstruction.

Keywords

Coronal Plane Alignment of the Knee, Constitutional Alignment, Total Knee Arthroplasty

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

随着膝关节骨关节炎患病率的逐年上涨，全膝关节置换手术数量也在逐年上升，如何获得最佳的术后力线以获得良好的临床功能和患者满意度，一直是骨科领域的重要讨论议题。传统的机械对(mechanical alignment, MA)原则旨在建立中立的机械轴和水平的关节线[1]。尽管机械对线具有良好的长期生存率[2]，但它采用“一刀切”的方法，没有考虑到个体在结构对线方面的差异，常需进行广泛的软组织松解[3]，这可能是导致部分患者术后不满意的重要原因之一[4][5]。与机械对线等系统对线理念相反，最近的个性化对线理念，如调整机械对线(adjusted mechanical alignment, aMA)、运动学对线(kinematic alignment, KA)、限制运动学对线(restricted kinematic alignment, rKA)、解剖学对线(anatomic alignment, AA)和功能性对线(Functional alignment, FA)等强调根据患者个体的对线情况进行个性化对线[6][7]。在此背景下，MacDessi等[8]于2021年提出的膝关节冠状面对线分型(Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) classification)系统，为理解和描述膝关节的个体化冠状面固有对线提供了一个标准化、系统化的框架。CPAK分型基于两个关键参数——算术髌-膝-踝角和关节线倾斜度，将膝关节的冠状面对线特征划分为九种表型。本文将对CPAK分型的方法、流行病学分布、在不同膝关节重建手术中的应用及其对临床结果的影响进行综述，以期为临床实践提供参考。

2. CPAK分型方法

CPAK分型由两个变量组成：算术髌-膝-踝角(aHKA)、关节线倾角(JLO)。aHKA为胫骨近端内侧角(MPTA)与机械股骨远端外侧角(LDFA)之差， $aHKA = MPTA - LDFA$ 。aHKA为正值表示结构性内翻，负值表示结构性外翻。中立aHKA的边界为 $0^\circ \pm 2^\circ$ 。在MacDessi的研究中，患有骨关节炎的膝关节的aHKA与其对侧无骨关节炎膝关节的mHKA显著相关[9]，这一结果支持aHKA可以预测膝关节磨损前的原始对线状态。同时aHKA不受关节间隙狭窄或胫股关节半脱位的影响，能够更准确地反映患者的结构性对线[10]。关节线倾角(JLO)是站立时膝关节关节线相对于地平面的倾斜程度，其计算公式为 $JLO = LDFA - MPTA$ 。JLO描述的是关节线的顶点方向，如果这两个角度之和为 180° ，则关节线为中立，即与地面平行。近端顶点关节线的JLO大于 180° ，远端顶点关节线的JLO小于 180° 。中立JLO(neutral JLO)的边界为 $180^\circ \pm 3^\circ$ 。这两个参数共同定义了膝关节的冠状面形态学特征。

基于aHKA和JLO的组合，CPAK分型将膝关节划分为九种表型，即CPAK I型：内翻对线，远端顶点关节线；CPAK II型：中立对线，远端顶点关节线；CPAK III型：外翻对线，远端顶点关节线；CPAK IV型：内翻对线，中立关节线。CPAK V型：中立对线，中立关节线(即传统机械对线的目标)；CPAK VI型：外翻对线，中立关节线；CPAK VII型：内翻对线，近端顶点关节线；CPAK VIII型：中性对线，近

端顶点关节线；CPAK IX 型：外翻对线，近端顶点关节线。测量胫骨近端内侧角(MPTA)和股骨远端外侧角(LDFA)需要拍摄双下肢全长片或者全下肢 CT 扫描，在双下肢全长片测量 MPTA 和 LDFA 具有良好的组内和组间观察者可靠性[11]，且双下肢全长片获取成本低、时间快，在临床应用中更加广泛，但与 CT 评估相比，双下肢全长片测量可能低估胫骨近端内翻和股骨远端外翻[12]，可能导致 CPAK 1 型和 2 型膝关节的比例被低估。因此在获取图像和测量角度时，需严格遵循标准化方案，减少肢体扭转、旋转和膝关节固定屈曲、过伸等带来的误差[13][14]，对于测量结果存疑或复杂病例，建议结合 CT 数据进行综合判断。

3. CPAK 分型分布

3.1. CPAK 分型的地理差异

CPAK 分型的分布表现出显著地理变异，反映了不同人群下肢结构对线差异[15]-[17]。MacDessi 等[8]的最初研究将 CPAK 分型应用于比利时健康人群和澳大利亚骨关节炎人群，发现 CPAK 1 型、2 型和 5 型是最常见的表型，且两组人群的频率分布相似。随后，在全球不同地区人群中进行了验证。最近的一篇系统综述显示，在骨关节炎人群中，全球最常见的表型为 CPAK 1 型(33.1%)、2 型(25.9%)和 3 型(14.4%)，在健康人群中，则以 CPAK 2 型(34.9%)、1 型(21.5%)和 3 型(19.3%)为主[15]；在亚洲国家，中国骨关节炎人群最常见为 CPAK 1 型、2 型和 4 型，健康人群中分型以 2 型、3 型和 1 型为主[18]；中国台湾地区主要是 2 型，1 型和 3 型[19]；印度骨关节炎人群中主要为 1 型、4 型和 2 型，而在健康人群中为 2 型，1 型和 5 型[20]；韩国健康人群中主要为 2 型，1 型和 3 型，骨关节炎人群中为 1 型，2 型和 4 型[21]。在欧洲国家，法国骨关节炎人群中主要以 1 型、2 型和 5 型为主[22]，而健康人群中为 2 型、1 型和 3 型[23]；意大利骨关节炎人群中主要为 1 型、2 型和 3 型[24]；比利时健康人群中以 2 型、1 型和 5 型为主[8]。总体而言，CPAK 1 型在亚洲骨关节炎和健康人群中更为普遍，可能是因为在亚洲人群中胫骨内翻的频率更高且程度更大[25]。在澳大利亚，目前只有对骨关节炎人群的研究，最常见的 2 型、1 型和 3 型[8][26]。在非洲只有 1 项研究，Coetzee 等[27]研究了 608 个骨关节炎膝关节，3 型最常见(28.6%)，其次是 2 型和 1 型，外翻相关的 CPAK 3 型(28.6%)的比例显著高于其他地区，呈现出独特的分布特征。这些地理差异强烈支持针对特定人群制定个性化膝关节置换手术策略的必要性。外科医生在应用 CPAK 分型时，需考虑患者所属人群的流行病学背景。

3.2. CPAK 分型的性别差异

多项研究探讨了 CPAK 分型性别差异。总体而言，男性比女性更容易表现出内翻对线，而女性则更多地表现为外翻对线。Huber 等[28]研究发现内翻对线在男性中更为常见，外翻对线在女性中比例更高。男性中最常见的类型是 CPAK 1 型(38.8%)和 2 型(27.3%)，而女性则在 CPAK 1 型(22.7%)、2 型(27.3%)和 3 型(25.7%)中的分布更为均匀，3 型(外翻对线，远端顶点关节线)的比例显著高于男性。与此相同，在奥地利骨关节炎人群中，CPAK 1 型和 2 型在男性中更为普遍，而女性中 CPAK 各型的分布模式则更为均衡[29]。然而，并非所有研究都发现性别与 CPAK 分布存在显著关联。在 Li 等[30]对中国骨关节炎患者的研究中，虽然男性内翻比例高于女性，但在 CPAK 类型的分布上未发现统计学上的显著性别差异，该研究认为 CPAK 分型可以可靠地反映结构性对线，而不受性别影响。这种不一致可能源于样本量、人群背景或统计方法的不同，也提示性别对 CPAK 分型分布的影响可能不如地理因素那样恒定。

4. CPAK 分型在全膝关节置换术(TKA)中的应用

在 MacDessi 等[8]最初的研究中，比较了 KA 和 MA 在不同 CPAK 分型中的软组织平衡，发现在所

有的CPAK分型中KA TKA实现最佳平衡的比例均高于MA TKA,特别是在CPAK 1型、2型和4型膝关节中更为显著。CPAK分型被认为是指导个性化对线策略的实用工具,能够帮助医生识别哪些膝关节可能从KA中获益最多,从而避免“一刀切”方法的弊端。随后研究主要集中于不同对线方式TKA术前、术后表型变化及其对患者临床结果的影响,CPAK分型作为预测临床结果的工具引发了更多的讨论。关于CPAK表型恢复与术后临床结局的关联,现有研究存在明显分歧,一些研究发现,恢复患者原始的CPAK表型可能带来更好的功能结果。Pangaud等[31]研究了TKA术前、术后aHKA、JLO及CPAK类型变化对临床结果的影响。他们发现机械对线全膝关节置换术(TKA)后,术前主要CPAK表型为1型(44.9%)和2型(23.1%);术后主要转变为5型(37.1%)和4型(28.1%),仅14.6%实现CPAK表型完全恢复。恢复CPAK表型的患者在KOOS评分中“日常生活”(79.2 vs 62.5, $P < 0.05$)和“生活质量”(73.8 vs 62.9, $P < 0.05$)显著改善。仅恢复aHKA的患者总KOOS评分显著更高(75.8 vs 67.7, $P < 0.01$)。aHKA恢复与“日常生活”子量表改善相关($P = 0.01$),但对疼痛、症状、运动功能及生活质量子量表无显著影响。仅恢复JLO的患者KOOS“日常生活”子量表评分显著更高(74.4 vs 60.9, $P < 0.05$)。JLO恢复与SKV评分改善相关($R^2 = 0.03$, $P < 0.01$),但对疼痛、症状、生活质量及遗忘关节评分(FJS)无显著影响。这表明机械对线难以复制患者术前表型,而CPAK表型恢复可能与更好的功能结果相关。Franceschetti等[24]回顾性分析180例接受机械对线(MA)全膝关节置换术(TKA)患者的1年随访数据,进一步分析不同术前表型的MA TKA结果,结果显示,术前内翻aHKA膝关节在膝关节协会评分(KSS)、牛津膝关节评分(OKS)和遗忘关节评分(FJS)上显著低于中立和外翻aHKA膝关节($P = 0.028$ 、 0.019 和 0.003)。Konishi等[32]研究术前术后CPAK表型及其变化对TKA患者临床结果的影响,发现术前CPAK分型以1型最常见(55%),术后以5型为主(26%),术前至术后aHKA变化是KOOS-12和FJS-12的显著负向预测因素,而术后顶点近端JLO则是KSS 2011和KOOS-12的显著负向预测因素。这表明维持术前术后内翻或外翻对线的一致性并避免术后顶点近端JLO,可显著改善TKA患者的临床结果,提示基于术前CPAK分型制定个性化手术目标可能优化临床结果。相反,Agarwal等[26]人研究机器人辅助机械对线全膝关节置换术(MA-TKA)中CPAK分型变化对患者满意度的影响,发现术后改变CPAK类型后,患者满意度没有显著差异,他们认为20%的TKA患者不满意可能由其他因素引起,而非只是冠状面对线变化引起。Kraus等[33]研究发现仅11.5%患者术后CPAK类型恢复至术前,结果显示CPAK类型恢复与否也与术前或术后临床结果无显著关联,他们认为术后结果受三维假体位置、软组织平衡及运动学等多因素复杂交互影响,单纯冠状面解剖匹配(CPAK分型)并非预后的独立预测因素。尽管MA术后CPAK类型的改变很常见,但这种改变总体上可能不会显著影响临床结果。研究结果存在分歧的原因可能包括以下方面:第一,手术技术的差异,Agarwal等[26]采用机器人辅助TKA,其对线精度显著优于传统手工TKA,且软组织松解更精准,可能减弱了冠状面表型改变对临床结局的影响,而Pangaud等[31]和Konishi等[32]采用传统手工TKA,对线误差较大,软组织松解范围更广,表型改变的影响更为显著;第二,研究设计不同,支持表型恢复有益的研究多为针对性的亚组分析,而持相反观点的研究多为整体分析,未对CPAK具体分型进行分层,如CPAK 1型等内翻表型的表型改变影响可能远大于中立或外翻表型;第三,临床结局评估指标的差异,Pangaud等[31]侧重患者主观功能评分,而Agarwal等[26]以患者满意度为主要指标,未纳入假体生存率等客观指标。患者满意度受多重因素影响,如疼痛缓解、假体舒适度等多因素,冠状面对线只是其中一项。此外,现有研究多为回顾性研究,样本量较小,且未控制假体类型和手术入路等混杂因素。临床结局评估指标与随访时间不一致,也未考虑研究间的种群差异,导致CPAK分型影响存在争议。未来应开展大样本多中心前瞻性随机研究,控制人群特征、假体类型等因素以减少偏倚。

许多研究研究了CPAK分型与对线理念之间的关系。Franceschetti等[34]对比了机械对线(MA)与非限制运动对线(KA)TKA在内翻患者中的临床结果,发现KA在整体内翻人群及CPAK 1型膝关节中KSS

评分(84.6 vs 73.9, $P < 0.001$)和遗忘关节评分(FJS, 90.5 vs 80.4, $P < 0.001$)显著高于 MA, 但在 CPAK 4 型中两种技术临床无明显差异, 提示保留关节线倾斜度可能是影响术后结果的关键因素。这与 Ettinger 等[35]的随机对照研究结果类似, 该研究对比了限制性运动对线(rKA)与机械对线(MA), 发现 rKA 组在术后 1 年的遗忘关节评分(FJS)显著更高(62.2 vs. 52.4, $P = 0.04$), 且膝关节协会评分(KSS)中的满意度和期望子评分在 1 年和 2 年时均显著优于 MA 组, 进一步分析发现, 在内翻 CPAK 分型患者中, rKA 组的 FJS 在 1 年(63.1 vs 44.9, $P = 0.03$)和 2 年(71.1 vs 46.0, $P = 0.005$)时均显著高于 MA 组, 而中立 CPAK 分型患者两组无显著差异。Loh 等[36]进一步比较了限制性与非限制性运动对线 TKA 的临床效果。对于 CPAK 1 型患者, 限制性 KA-TKA 在 6 个月时的膝关节协会客观评分(KSS)和患者满意度显著高于非限制性 KA-TKA (分别 $P = 0.04$ 和 $P = 0.02$), 且 2 年时牛津膝关节评分(OKS)仍有优势($P = 0.03$)。CPAK 分型强调了术前分型和 JLO 在临床结果中的重要性, 恢复膝关节分型或关节线倾斜角(JLO)等可能有助于改善临床结局。上述研究表明, CPAK 分型可有效指导 TKA 对线理念的选择, 尤其是 CPAKI 型等内翻表型患者更可能从 KA 或 rKA 中获益。但现有证据仍存在异质性, 未来应优先开展前瞻性随机研究, 重点减少偏倚, 明确不同术前 CPAK 分型与特定对线理念的适配关系。

5. CPAK 分型在单髁膝关节置换术(UKA)中的应用

单髁膝关节置换术(UKA)成功高度依赖于精确的假体位置和良好的韧带张力平衡。UKA 通过替换磨损的间室, 理论上可以部分恢复关节的原始几何形态和对线。然而, 大多数研究观察到, UKA 术后患者的 CPAK 分型常常发生改变。Brauwer 等[37]研究了 1000 例内侧 UKA 患者在术前和术后的 CPAK 分型变化, 发现术前最常见的是 CPAK1 型(45.0%), 男性中 I 型更常见, 在女性中则为 5 型。术后 2 型占比最高, 大部分膝关节(45.1%)维持了术前 CPAK 分型, 特别是在 2 型和 3 型中。Zhao 等[38]则比较了内侧与外侧 UKA 患者的 CPAK 分型差异及其术后变化, 发现术前内侧 UKA 最常见 CPAK 1 型, 外侧 UKA 则以 3 型为主, 在术后两组均以 2 最常见, 但 CPAK 分型维持率较低仅 31.3%; 无论内侧还是外侧 UKA, 术后对线均倾向于调整为中立, 都观察到显著的术前表型多样性和术后改变。传统上, UKA 使用 MA 进行, 改变下肢冠状面对线趋近于 0° [39], 以最大程度减少未受累间室的疾病进展, 避免畸形过度矫正。

CPAK 分型的变化或保留是否会影响 UKA 的临床结果, 现有证据同样存在分歧。Jiang 等[40]研究了 222 例活动平台 UKA 中恢复术前 aHKA 对患者中长期预后的影响, 结果显示, 76.13%的患者术后 aHKA 恢复, 该组患者 5 年假体生存率(99.4%)显著高于 aHKA 未恢复组, 在患者报告结局方面, aHKA 恢复组 HSS 评分、KOOS 日常活动/运动/生活质量量表评分及达到患者可接受症状状态(PASS)的比例均显著优于 aHKA 未恢复组, 这表明, 单髁膝关节置换术后使患者恢复术前的冠状面对线可能会有更好的患者结果。这与 Kim 等[41]研究一致, 他们分析了 164 例 UKA 患者中 CPAK 分型变化与患者报告结局(PROMs)的关系, 将 CPAK 分型变化分为未改变、轻微改变(相邻类型转换)和显著改变(跨类型转换)三类, 结果显示保留术前 CPAK 分型的患者在术后 1 年膝关节结局评分显著更高, 而 CPAK 类型变化程度(轻微和显著)对 PROMs 无显著影响, 在 UKA 中维持患者原有的 CPAK 类型对获得良好临床结局至关重要。然而, Sahbat 等[42]则报道 CPAK 分型维持组与改变组在术后 5 年的临床评分及假体生存率上无统计学差异。Vossen 等[43]也报道了相同的结果, 他们研究了接受内侧 UKA 的 618 例膝关节, 虽然术后保留 CPAK 分型和关节炎前冠状面对线的患者 Kujala 评分显著更高, 但在膝关节损伤和骨关节炎结局评分(KOOS)、患者满意度和假体生存率方面没有发现显著差异。在外侧 UKA 中, 术后保留和改变的表型之间也没有发现 PROM 的显著差异[44]。这些结果表明, UKA 的成功更多地取决于精确的假体植入、韧带的适当张力以及患者选择, 因为 UKA 更多是在正常韧带范围内的表面置换手术, 现有研究中临床结果的争议主要源于假体选择、手术部位和随访时间的差异。CPAK 分型在预测和指导 UKA 手术以优化临床结果方面的作

用, 尚需更多高质量、长期随访的研究来证实。

6. CPAK 分型在截骨术中的应用

膝关节周围截骨术, 如胫骨高位截骨术(HTO)和股骨远端截骨术(DFO), 是通过矫正下肢力线、转移负重区域的保膝手术。其目的是将力线从磨损严重的间室转移到相对健康的间室, 从而缓解疼痛、延缓关节炎进展。目前关于截骨术与 CPAK 分型相关研究有限。Genechten 等[45]研究分析了 135 例接受内侧开放楔形胫骨高位截骨术(MOWHTO)后 2 年的患者不同内翻表型的临床结局差异, 结果显示, 最常见的术前表型为 CPAK 1 型, 而术后为 CPAK 6 型。所有 CPAK 分型术后临床结局评分无显著差异。而 Erdem 等[46]回顾了 147 例 MOWHTO 患者中机械轴位置(WBL)和 CPAK 分型对临床结果的影响, 发现术前 82.3% 患者为 CPAK 1 型, 术后多数转变为 5 型和 6 型, 表型向 CPAK5、6 型转变、50%~60% WBL 及水平关节线恢复与更好的临床结果相关。Cho 等[47]发现术前和术后关节线倾角(JLO)是 OOWHTO 术后对线变化的预测因素, 术前顶点远端 JLO 且术后中立 JLO 倾向于出现内翻进展, 而术前中立 JLO 且术后顶点近端 JLO 倾向于出现外翻进展, 这些发现突出维持患者术前 JLO 的重要性。膝关节周围截骨术中 JLO 是非常重要的, CPAK 分型中包括下肢对线(aHKA)和 JLO, 在截骨术中改变下肢对线是手术的主要目标, 通常也会伴随着 JLO 的改变, 因此 CPAK 分型对于评估术前和术后的对线类型、设定力线目标以及比较不同截骨术的临床结局可能具有重要价值。未来研究或许可以探索 CPAK 分型与截骨术后关节线变化、韧带张力以及远期 TKA 转化率之间的更深层次关系。

7. CPAK 分型与膝关节软组织平衡的关系

膝关节的稳定性依赖于其周围的韧带结构, 包括内侧副韧带(MCL)、外侧副韧带(LCL)、前交叉韧带(ACL)和后交叉韧带(PCL)等, 这些韧带的张力和长度随膝关节的活动而变化, 同时受冠状面对线影响。Ophoff 等[48]过计算机辅助手术系统分析了 84 例 TKA 患者术前不同 CPAK 分型下的膝关节内外侧副韧带长度变化, 研究发现, MCL 的伸长行为与对线类型显著相关, 尤其在深屈膝时, 而 LCL 在所有分型中均呈现随屈曲逐渐松弛的一致模式。这表明不同 CPAK 分型的膝关节的侧副韧带在活动度范围内的“紧张-松弛”转换模式存在差异, 这种差异可能源于骨骼几何形状改变了韧带的附着点相对位置和力线方向, 支持在 TKA 中采用基于对线特征的个性化软组织平衡策略。Holland 等[49]通过模拟发现, 不同 CPAK 分型在整个活动范围内的间隙应力曲线形态存在显著差异, 反映了不同分型达到平衡所需的不同张力和截骨量。多项研究比较了机械对线(MA)和运动学对线(KA)在不同 CPAK 分型中的效果, 证实 KA 更符合患者的固有韧带张力特征。KA 的目的是恢复患者固有的解剖形态, 其保留与原始 CPAK 分型匹配的韧带张力状态。在机器人辅助 TKA 的研究中, 对于 CPAK 1 型患者, KA 在伸展过程中实现膝关节平衡而没有软组织松懈的患者比例高于 MA [50]。Tachibana 等[51]也发现在 CPAK 1 型患者中, 采用改良运动学对线(mKA)相较于 MA, 能更好地保留膝关节在中、深度屈膝时的外侧松弛度, 有助于改善活动度和临床结果。对于内翻等特定 CPAK 分型, 采用恢复其固有对线的策略(如 KA), 可能比将其统一矫正至中立位的策略(如 MA), 更能获得生理性的韧带张力, 从而获得更好的软组织平衡和临床效果。但需注意的是, 也有研究指出 CPAK 分型不能可靠的预测术中关节间隙的大小[52]。

8. CPAK 分型的局限性

首先, CPAK 分型基于两个影像学参数 aHKA 和 JLO 将患者分为 9 种不同的表型[8], 尽管该分型系统纳入了 JLO, 但并未考虑关节间隙狭窄或胫股关节半脱位, 并且忽略了由骨关节炎软骨不对称丢失导致关节线会聚角(JLCA)的变化, JLCA 与 HKA 会共同影响关节线倾角[53]。Şahbat 等[54]发现 CPAK 分

型中 JLO 仅在不到一半的膝关节中检测到真实的膝关节顶点位置。对于 aHKA, 在单侧骨关节炎患者中, aHKA 与对侧健康腿的 mHKA 呈强相关性, 但由于骨关节炎膝关节存在骨侵蚀和屈曲挛缩, 关节炎前对线与 aHKA 之间的差异可能会更大, 特别存在膝关节外畸形时, Loddo 等[23]发现在存在关节外畸形的情况下, CPAK 分型不能用于确定节段性冠状位关节外膝关节畸形。其次, CPAK 分型缺乏对软组织的评估, 忽略了软组织的可变性。膝关节的稳定性不仅依赖于骨骼对线, 更关键的是由内外侧副韧带、交叉韧带、关节囊等构成的软组织平衡。CPAK 分型基于 aHKA 和 JLO 这两个骨性参数构成, 它假设同一 CPAK 分型的膝关节具有相似的软组织张力特征, 但事实并非如此。有研究发现, 在同一 CPAK 分型, 膝关节在伸直位或屈曲位的内外侧关节间隙存在着显著的变异[55]。另一项研究也表明, CPAK 分型并不能可靠地预测 TKA 术中的胫股关节间隙[52]。第三, CPAK 分型无法充分区分严重和轻微畸形。aHKA 和 JLO 在中立边界的每一侧都只分为一个类别, 这限制了该分型全面识别冠状面对线表型的能力。第四, CPAK 分型仅描述了冠状面, 而对于矢状面、轴面和旋转则没有涉及。Ziegenhorn 等[56]发现冠状面对线与股骨扭转之间存在关联, 但与此相反, León-Muñoz 等[57]却得出相反的结果, 他们发现冠状面对线与股骨远端旋转之间没有相关关系。Corbett、Sasaki 等也发现 CPAK 分型与三维对线之间几乎没有相关性[58][59], 强调对膝关节进行三维评估的必要性, 需要进一步的研究来增进对三维对线的理解。

9. 总结

CPAK 分型为膝关节的个体化解剖评估提供了一个标准化、系统化的框架, 是近年来膝关节置换领域的重要进展。本综述系统性地阐述了其方法学原理, 并深入分析了其在全球不同人群中的流行病学分布特征。在临床应用层面, CPAK 分型在指导 TKA 对线理念选择方面展现出明确的价值, 尤其是在预测不同对线方法(如 KA vs MA)下术中软组织平衡的差异方面。然而, 现有证据尚不足以证明 CPAK 分型或其改变与 TKA、UKA 及截骨术后患者报告的临床结局之间存在稳定、强健的关联。其根本局限性在于该系统仅涵盖了二维冠状面信息, 未能整合矢状面、旋转面及软组织张力等关键三维动态因素。未来的研究应着力于通过结合多个扩展到冠状面以外的系统, 以更全面地指导临床决策, 可以在优化患者特异性 TKA 方法方面取得重大进展。

基金项目

昆明医科大学第二附属医院对外合作研究项目(2022dwhz19)。

参考文献

- [1] Insall, J., Scott, W.N. and Ranawat, C.S. (1979) The Total Condylar Knee Prosthesis. A Report of Two Hundred and Twenty Cases. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **61**, 173-180. <https://doi.org/10.2106/00004623-197961020-00003>
- [2] Evans, J.T., Walker, R.W., Evans, J.P., Blom, A.W., Sayers, A. and Whitehouse, M.R. (2019) How Long Does a Knee Replacement Last? A Systematic Review and Meta-Analysis of Case Series and National Registry Reports with More than 15 Years of Follow-Up. *The Lancet*, **393**, 655-663. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)32531-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32531-5)
- [3] Grosso, M.J., Wakelin, E.A., Plaskos, C. and Lee, G. (2024) Alignment Is Only Part of the Equation: High Variability in Soft Tissue Distractibility in the Varus Knee Undergoing Primary TKA. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1516-1524. <https://doi.org/10.1002/ksa.12115>
- [4] Nam, D., Nunley, R.M. and Barrack, R.L. (2014) Patient Dissatisfaction Following Total Knee Replacement: A Growing Concern? *The Bone & Joint Journal*, **96**, 96-100. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.96b11.34152>
- [5] DeFrance, M.J. and Scuderi, G.R. (2023) Are 20% of Patients Actually Dissatisfied Following Total Knee Arthroplasty? A Systematic Review of the Literature. *The Journal of Arthroplasty*, **38**, 594-599. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2022.10.011>
- [6] Matassi, F., Pettinari, F., Frasca, F., Innocenti, M. and Civinini, R. (2023) Coronal Alignment in Total Knee Arthroplasty: A Review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **24**, Article No. 24.

- <https://doi.org/10.1186/s10195-023-00702-w>
- [7] Karasavvidis, T., Pagan Moldenhauer, C.A., Lustig, S., Vigdorichik, J.M. and Hirschmann, M.T. (2023) Definitions and Consequences of Current Alignment Techniques and Phenotypes in Total Knee Arthroplasty (TKA)—There Is No Winner Yet. *Journal of Experimental Orthopaedics*, **10**, Article No. 120. <https://doi.org/10.1186/s40634-023-00697-7>
- [8] MacDessi, S.J., Griffiths-Jones, W., Harris, I.A., Bellemans, J. and Chen, D.B. (2021) Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) Classification. *The Bone & Joint Journal*, **103**, 329-337. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.103b2.bjj-2020-1050.r1>
- [9] MacDessi, S.J., Griffiths-Jones, W., Harris, I.A., Bellemans, J. and Chen, D.B. (2020) The Arithmetic HKA (aHKA) Predicts the Constitutional Alignment of the Arthritic Knee Compared to the Normal Contralateral Knee: A Matched-Pairs Radiographic Study. *Bone & Joint Open*, **1**, 339-345. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.17.bjo-2020-0037.r1>
- [10] Griffiths-Jones, W., Chen, D.B., Harris, I.A., Bellemans, J. and MacDessi, S.J. (2021) Arithmetic Hip-Knee-Ankle Angle (aHKA): An Algorithm for Estimating Constitutional Lower Limb Alignment in the Arthritic Patient Population. *Bone & Joint Open*, **2**, 351-358. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.25.bjo-2021-0028.r1>
- [11] Gieroba, T.J., Marasco, S., Babazadeh, S., Di Bella, C. and van Bavel, D. (2023) Arithmetic Hip Knee Angle Measurement on Long Leg Radiograph versus Computed Tomography—Inter-Observer and Intra-Observer Reliability. *Arthroplasty*, **5**, Article No. 35. <https://doi.org/10.1186/s42836-023-00193-4>
- [12] Tarassoli, P., Corban, L.E., Wood, J.A., Sergis, A., Chen, D.B. and MacDessi, S.J. (2023) Long Leg Radiographs Underestimate the Degree of Constitutional Varus Limb Alignment and Joint Line Obliquity in Comparison with Computed Tomography: A Radiographic Study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 4755-4765. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07505-w>
- [13] Chen, K., Stotter, C., Lepenic, C., Klestil, T., Salzlechner, C. and Nehrer, S. (2025) Frontal Plane Mechanical Leg Alignment Estimation from Knee X-Rays Using Deep Learning. *Osteoarthritis and Cartilage Open*, **7**, Article 100551. <https://doi.org/10.1016/j.ocarto.2024.100551>
- [14] Ahrend, M., Baumgartner, H., Ihle, C., Histing, T., Schröter, S. and Finger, F. (2021) Influence of Axial Limb Rotation on Radiographic Lower Limb Alignment: A Systematic Review. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **142**, 3349-3366. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04163-w>
- [15] Giurazza, G., Tanzilli, A., Franceschetti, E., Campi, S., Gregori, P., Parisi, F.R., et al. (2025) Coronal Plane Alignment of the Knee Phenotypes Distribution Varies Significantly as a Function of Geographic, Osteoarthritic and Sex-Related Factors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **33**, 3592-3605. <https://doi.org/10.1002/ksa.12704>
- [16] Pagan, C.A., Karasavvidis, T., Lebrun, D.G., Jang, S.J., MacDessi, S.J. and Vigdorichik, J.M. (2023) Geographic Variation in Knee Phenotypes Based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification: A Systematic Review. *The Journal of Arthroplasty*, **38**, 1892-1899.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.03.047>
- [17] Zhao, G., Ma, C., Luo, Z., Ma, J. and Wang, J. (2025) A Systematic Review of Geographic Differences in Knee Phenotypes Based on the Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) Classification. *Arthroplasty*, **7**, Article No. 26. <https://doi.org/10.1186/s42836-025-00311-4>
- [18] Gao, Y., Qi, Y., Huang, P., Zhao, X. and Qi, X. (2024) Distribution of Coronal Plane Alignment of the Knee Classification in Chinese Osteoarthritic and Healthy Population: A Retrospective Cross-Sectional Observational Study. *International Journal of Surgery*, **110**, 2583-2592. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000001178>
- [19] Hsu, C., Chen, C., Wang, S., Huang, J., Tong, K. and Huang, K. (2022) Validation and Modification of the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification in the Asian Population. *Bone & Joint Open*, **3**, 211-217. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.33.bjo-2022-0001.r1>
- [20] Mulpur, P., Desai, K.B., Mahajan, A., Masilamani, A.B.S., Hippalgaonkar, K. and Reddy, A.V.G. (2022) Radiological Evaluation of the Phenotype of Indian Osteoarthritic Knees Based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification (CPAK). *Indian Journal of Orthopaedics*, **56**, 2066-2076. <https://doi.org/10.1007/s43465-022-00756-8>
- [21] Yang, H.Y., Yoon, T.W., Kim, J.Y. and Seon, J.K. (2024) Radiologic Assessment of Knee Phenotypes Based on the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification in a Korean Population. *Clinics in Orthopedic Surgery*, **16**, 422-429. <https://doi.org/10.4055/cios23250>
- [22] Sappey-Mariniere, E., Batailler, C., Swan, J., Schmidt, A., Cheze, L., MacDessi, S.J., et al. (2021) Mechanical Alignment for Primary TKA May Change Both Knee Phenotype and Joint Line Obliquity without Influencing Clinical Outcomes: A Study Comparing Restored and Unrestored Joint Line Obliquity. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **30**, 2806-2814. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06674-w>
- [23] Loddo, G., An, J., Claes, S., Jacquet, C., Kley, K., Argenson, J., et al. (2024) CPAK Classification Cannot Be Used to Determine Segmental Coronal Extra-Articular Knee Deformity. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1557-1570. <https://doi.org/10.1002/ksa.12168>

- [24] Franceschetti, E., Campi, S., Giurazza, G., Tanzilli, A., Gregori, P., Laudisio, A., *et al.* (2024) Mechanically Aligned Total Knee Arthroplasty Does Not Yield Uniform Outcomes across All Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) Phenotypes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 3261-3271. <https://doi.org/10.1002/ksa.12349>
- [25] Moser, L.B., Hess, S., de Villeneuve Bargemon, J., Faizan, A., LiArno, S., Amsler, F., *et al.* (2022) Ethnic Differences in Knee Phenotypes Indicate the Need for a More Individualized Approach in Knee Arthroplasty: A Comparison of 80 Asian Knees with 308 Caucasian Knees. *Journal of Personalized Medicine*, **12**, Article 121. <https://doi.org/10.3390/jpm12010121>
- [26] Agarwal, S., Ayeni, F.E. and Sorial, R. (2024) Impact of Change in Coronal Plane Alignment of Knee (CPAK) Classification on Outcomes of Robotic-Assisted TKA. *Arthroplasty*, **6**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/s42836-024-00239-1>
- [27] Coetzee, K., Charilaou, J., Burger, M. and Jordaan, J. (2024) Increased Prevalence of Valgus Constitutional Alignment Subtypes in a South African Arthritic Population Group Using the Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) Classification. *The Knee*, **49**, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2024.04.010>
- [28] Huber, S., Mitterer, J.A., Vallant, S.M., Simon, S., Hanak-Hammerl, F., Schwarz, G.M., *et al.* (2023) Gender-Specific Distribution of Knee Morphology According to CPAK and Functional Phenotype Classification: Analysis of 8739 Osteoarthritic Knees Prior to Total Knee Arthroplasty Using Artificial Intelligence. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 4220-4230. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07459-z>
- [29] Koutp, A., Schieder, P., Fetz, C., Schroedter, R., Leitner, L., Leithner, A., *et al.* (2025) Sex-Specific Differences in Coronal Knee Alignment and CPAK Distribution in an Austrian Population. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **145**, Article No. 512. <https://doi.org/10.1007/s00402-025-06125-y>
- [30] Li, S., Chen, X., Liu, S., Xu, H., Yu, Y., Li, S., *et al.* (2024) Gender, BMI, and Age-Related Variations in Lower Limb Alignment Parameters and CPAK Phenotypes in Chinese Patients with Knee Osteoarthritis. *Orthopaedic Surgery*, **16**, 3098-3106. <https://doi.org/10.1111/os.14253>
- [31] Pangaud, C., Siboni, R., Gonzalez, J., Argenson, J., Seil, R., Froidefond, P., *et al.* (2024) Restoring the Preoperative Phenotype According to the Coronal Plane Alignment of the Knee Classification after Total Knee Arthroplasty Leads to Better Functional Results. *The Journal of Arthroplasty*, **39**, 2970-2976. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.06.012>
- [32] Konishi, T., Hamai, S., Tsushima, H., Kawahara, S., Akasaki, Y., Yamate, S., *et al.* (2024) Pre- and Postoperative Coronal Plane Alignment of the Knee Classification and Its Impact on Clinical Outcomes in Total Knee Arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, **106**, 1059-1066. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.106b10.bjj-2023-1425.r1>
- [33] Kraus, K.R., Deckard, E.R., Buller, L.T., Meding, J.B. and Meneghini, R.M. (2025) The Mark Coventry Award: Does Matching the Native Coronal Plane Alignment of the Knee Improve Outcomes in Primary Total Knee Arthroplasty? *The Journal of Arthroplasty*, **40**, S3-S11. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2025.02.007>
- [34] Franceschetti, E., Giurazza, G., Campi, S., Hirschmann, M.T., Samuelsson, K., Tanzilli, A., *et al.* (2025) Unrestricted Kinematic Alignment in Varus Total Knee Arthroplasty Outperforms Mechanical Alignment in CPAK I Phenotype, but Yields Comparable Outcomes in CPAK IV: A Retrospective Analysis from the FP-UCBM Knee Study Group. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 1-7. <https://doi.org/10.1002/ksa.70084>
- [35] Ettinger, M., Tuecking, L., Savov, P. and Windhagen, H. (2024) Higher Satisfaction and Function Scores in Restricted Kinematic Alignment versus Mechanical Alignment with Medial Pivot Design Total Knee Arthroplasty: A Prospective Randomised Controlled Trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1275-1286. <https://doi.org/10.1002/ksa.12143>
- [36] Loh, J.Y., Liow, M.H.L., Purnomo, G., Lee, M., Chen, J.Y., Pang, H., *et al.* (2025) Restricted Kinematic Total Knee Arthroplasty Provided Better Functional Outcomes and Higher Satisfaction Rates for Asians of Genu Varum with Apex Distal Joint Line over Unrestricted Kinematic Total Knee Arthroplasty. *Arthroplasty*, **7**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s42836-025-00318-x>
- [37] ten Noever de Brauw, G.V., Bayoumi, T., Ruderman, L.V., Kerkhoffs, G.M.M.J., Pearle, A.D. and Zuiderbaan, H.A. (2023) Knees with Anteromedial Osteoarthritis Show a Substantial Phenotypic Variation Prior and Following Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 5579-5590. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07603-9>
- [38] Zhao, Y., Liu, X., Tao, H., Liang, X., Zheng, K., Zhou, J., *et al.* (2024) Distinct Knee Phenotype Variation: A Comparative Analysis of Medial and Lateral Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **145**, Article No. 97. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05730-7>
- [39] Kennedy, J.A., Molloy, J., Jenkins, C., Mellon, S.J., Dodd, C.A.F. and Murray, D.W. (2019) Functional Outcome and Revision Rate Are Independent of Limb Alignment Following Oxford Medial Unicompartmental Knee Replacement. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **101**, 270-275. <https://doi.org/10.2106/jbjs.18.00497>
- [40] Jiang, Y., Liu, C., Zhang, Q., Sun, G., Ding, R., Zhang, N., *et al.* (2025) Restoring Coronal Pre-Arthritic Alignment in Mobile-Bearing Unicompartmental Knee Arthroplasty: Mid- to Long-Term Outcomes. *BMC Musculoskeletal Disorders*,

- 26, Article No. 124. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08363-y>
- [41] Kim, S.E., Yun, K., Lee, J.M., Lee, M.C. and Han, H. (2024) Preserving Coronal Knee Alignment of the Knee (CPAK) in Unicompartmental Knee Arthroplasty Correlates with Superior Patient-Reported Outcomes. *Knee Surgery & Related Research*, **36**, Article No. 1. <https://doi.org/10.1186/s43019-023-00204-3>
- [42] Sahbat, Y., Gulagaci, F., Mabrouk, A., Karam, K.M., Jacquet, C., Ollivier, M., *et al.* (2025) Maintenance of Coronal Alignment and Joint Line Obliquity Has No Effect on Unicompartmental Knee Arthroplasty: Clinical Results at Five Years Follow-Up. *The Journal of Arthroplasty*, **40**, 1508-1515.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.11.041>
- [43] Vossen, R.J.M., Burger, J.A., ten Noever de Brauw, G.V., Bayoumi, T., Fiore, J.A., Ruderman, L.V., *et al.* (2024) Preservation of Prearthritic Coronal Knee Phenotype and Prearthritic Coronal Alignment Yielded Improved Kujala Scores Following Ligament-Guided Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 3185-3197. <https://doi.org/10.1002/ksa.12282>
- [44] Vossen, R.J.M., ten Noever de Brauw, G.V., Ruderman, L.V., Bayoumi, T., Kerkhoffs, G.M.M.J., Zuiderbaan, H.A., *et al.* (2024) Large Variance in a Lateral Osteoarthritic Population Prior to and Following Lateral Unicompartmental Arthroplasty: An Analysis of Knee Phenotypes. *The Knee*, **49**, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2024.05.010>
- [45] Van Genechten, W., Vanneste, Y., van Beek, N., Michielsen, J., Claes, S. and Verdonk, P. (2024) No Clinical Outcome Difference between Varus Phenotypes after Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy at 2 Years Follow-Up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1016-1025. <https://doi.org/10.1002/ksa.12099>
- [46] Erdem, A., Uçan, V., Lebe, G., Geçkalan, M.A., Demirkıran, C.B., Toprak, A., *et al.* (2025) Impact of Mechanical Axis Position and Coronal Plane Alignment Phenotypes on Clinical Outcomes in Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy. *International Orthopaedics*, **49**, 2607-2613. <https://doi.org/10.1007/s00264-025-06659-1>
- [47] Cho, J.H., Nam, H.S., Park, S.Y., Ho, J.P.Y. and Lee, Y.S. (2023) Constitutional and Postoperative Joint Line Obliquity Can Predict Serial Alignment Change after Opening-Wedge High Tibial Osteotomy: Analysis Using Coronal Plane Alignment of the Knee Classification. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 5652-5662. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07611-9>
- [48] Ophoff, G., Bellemans, J., Ascani, D., Taylan, O., Scheys, L., Pandit, H., *et al.* (2025) A Navigation-Based Analysis of Native Knee Collateral Ligament Length Change Patterns in Function of CPAK Classification. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **145**, Article No. 369. <https://doi.org/10.1007/s00402-025-05984-9>
- [49] Holland, C.T., Savov, P., Ettinger, M. and Seyler, T.M. (2024) Defining Distinct Stress Curve Morphologies for Coronal Plane Alignment of the Knee Phenotypes Using an Imageless Navigation Robotic Platform in Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **39**, 2478-2482. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.06.011>
- [50] Arai, N., Toyooka, S., Masuda, H., Kawano, H. and Nakagawa, T. (2024) Kinematic Alignment Achieves a More Balanced Total Knee Arthroplasty than Mechanical Alignment among CPAK Type I Patients: A Simulation Study. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 3596. <https://doi.org/10.3390/jcm13123596>
- [51] Tachibana, S., Matsumoto, T., Nakano, N., Tsubosaka, M., Kamenaga, T., Kuroda, Y., *et al.* (2025) The Influence of Knee Phenotypes Based on Coronal Plane Alignment of the Knee on Intraoperative Soft Tissue Balance and Clinical Outcomes: Comparison between Kinematically and Mechanically Aligned Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Knee Surgery*, **38**, 440-447. <https://doi.org/10.1055/a-2542-2583>
- [52] Jagota, I., Al-Dirini, R.M.A., Taylor, M., Twigg, J., Miles, B. and Liu, D. (2025) Coronal Plane Alignment of the Knee Classification System Does Not Reliably Predict Tibiofemoral Joint Gaps in Arthritic Knees Undergoing Total Knee Arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **33**, 3675-3685. <https://doi.org/10.1002/ksa.12734>
- [53] Oh, K., Ko, Y., Bae, J., Yoon, S. and Kim, J. (2016) Analysis of Knee Joint Line Obliquity after High Tibial Osteotomy. *The Journal of Knee Surgery*, **29**, 649-657. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1571430>
- [54] Şahbat, Y., Chou, T.A., An, J., Gülağacı, F. and Ollivier, M. (2024) CPAK Classification Detect the Real Knee Joint Apex Position in Less than Half of the Knees. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1548-1556. <https://doi.org/10.1002/ksa.12175>
- [55] Lee, G., Orsi, A.D., Wakelin, E., Hughes, A., Sculco, P.K. and Plaskos, C. (2025) Beyond Coronal Plane Alignment of the Knee: Similarity and Variability of Extension Knee Balance across Coronal Plane Alignment of the Knee Phenotypes. *The Journal of Arthroplasty*, **40**, S140-S146. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2025.02.041>
- [56] Ziegenhorn, J., Kirschberg, J., Heinecke, M., von Eisenhart-Rothe, R. and Matziolis, G. (2024) Significant Difference in Femoral Torsion between Coronal Plane Alignment of the Knee Type 1 and 4. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **32**, 1199-1206. <https://doi.org/10.1002/ksa.12149>
- [57] León-Muñoz, V.J., Hurtado-Avilés, J., Santonja-Medina, F., Lajara-Marco, F., López-López, M. and Moya-Angeler, J. (2025) Relationship between Coronal Plane Alignment of the Knee Phenotypes and Distal Femoral Rotation. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 1679. <https://doi.org/10.3390/jcm14051679>
- [58] Corbett, J., Sinha, P., Esposito, C.I., Wood, J.A., Chen, D.B. and MacDessi, S.J. (2024) Multi-Planar Expansion of the

Coronal Plane Alignment of the Knee Classification? A Computed Tomographic Study Indicates No Significant Correlation with Alignment Parameters in Other Planes. *The Journal of Arthroplasty*, **39**, 336-342.
<https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.08.033>

- [59] Sasaki, R., Niki, Y., Kaneda, K., Yamada, Y., Nagura, T., Nakamura, M., *et al.* (2023) Three-Dimensional Joint Surface Orientation Does Not Correlate with Two-Dimensional Coronal Joint Line Orientation in Knee Osteoarthritis: Three-Dimensional Analysis of Upright Computed Tomography. *The Knee*, **43**, 10-17.
<https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.05.001>