

磁共振分析成人膝关节外侧盘状半月板状态与关节软骨厚度间的关系

毛宏博^{1,2*}, 徐 斌^{1#}

¹安徽医科大学第一附属医院运动创伤与关节镜外科, 安徽 合肥

²安徽医科大学第一临床医学院, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年4月23日; 录用日期: 2025年5月16日; 发布日期: 2025年5月27日

摘 要

目的: 运用核磁共振技术(MRI)观察完全型外侧盘状半月板(complete discoid lateral meniscus, CDLM)与正常半月板之间的各区域软骨厚度的影像学测量差异, 评估关节软骨厚度与盘状半月板之间是否存在关系。方法: 收集2023年2月至2024年8月在安徽医科大学第一附属医院运动创伤与关节镜外科就诊的患者资料, 选取符合条件的120例患者, 其中男43例, 女77例, 年龄19~55岁, 平均年龄 33.80 ± 9.03 岁。研究对象包括40例已发生破裂的盘状半月板患者、40例未发生破裂的盘状半月板患者以及40例拥有正常形态和完整结构的外侧半月板的志愿者作为对照组。所有人群均在同一医院使用相同设备接受膝关节MRI检查, 通过RadiAntViewer软件解析并测量患者的磁共振影像学资料, 由两名骨科医生及一名放射科医生在膝关节MRI的矢状面层面上分别分次测量每位患者股骨外侧髁、股骨内侧髁以及内侧胫骨平台、外侧胫骨平台等12个区域的关节软骨厚度, 比较研究组和对照组之间的差异。结果: 1. 在股骨外侧髁中间软骨、股骨外侧髁后方软骨、外侧胫骨平台前方软骨、外侧胫骨平台中间软骨、外侧胫骨平台后方软骨这五个测量点中, 三组患者的数值间差异具有统计学意义($P < 0.05$); 2. 股骨外侧髁前方软骨、股骨内侧髁软骨、内侧胫骨平台软骨等测量值之间未见统计学差异($P > 0.05$); 3. 三组患者差异测量点数据的组间两两比较发现: 在正常半月板对照组分别与完整盘状半月板组、破裂盘状半月板组的比较中, 上述五个差异显著的测量点均存在统计学差异($P < 0.05$), 在完整盘状半月板组与破裂盘状半月板组的比较中, 这五个测量点均未见统计学差异($P > 0.05$)。结论: 基于MRI观测发现, 盘状半月板会影响股骨外侧髁负重面及外侧胫骨平台的软骨厚度, 这种影响来源于盘状半月板本身, 即盘状半月板无论是否破裂均会影响以上区域的软骨厚度。

关键词

盘状半月板, 关节软骨厚度, 核磁共振成像

*第一作者。

#通讯作者。

The Relationship between the Status of Lateral Meniscus and Articular Cartilage Thickness in Adult Knee Joints Assessed by Magnetic Resonance Imaging

Hongbo Mao^{1,2*}, Bin Xu^{1#}

¹Department of Orthopaedic Sports Trauma and Arthroscopic Surgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

²The First Clinical Medical College, Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: Apr. 23rd, 2025; accepted: May 16th, 2025; published: May 27th, 2025

Abstract

Objective: Use Magnetic Resonance Imaging (MRI) to observe the differences in cartilage thickness measurements in various regions between complete discoid lateral meniscus (CDLM) and normal meniscus, and to evaluate whether there is a relationship between articular cartilage thickness and discoid meniscus. **Methods:** We collected data from patients who visited the Department of Orthopaedic Sports Trauma and Arthroscopic Surgery at the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University from February 2023 to August 2024. The total of 120 eligible patients were selected, including 43 males and 77 females, with ages ranging from 19 to 55 years old, and an average age of 33.80 ± 9.03 years. The study population included 40 patients with ruptured discoid meniscus, 40 patients with intact discoid meniscus, and 40 volunteers with normal morphology and intact structure of the lateral meniscus as the control group. All subjects underwent knee MRI examination using the same equipment at the same hospital. The MRI images were analyzed and measured using RadiAntViewer software. Two orthopedic surgeons and one radiologist independently measured the articular cartilage thickness in 12 regions, including the lateral femoral condyle, medial femoral condyle, medial tibial plateau, and lateral tibial plateau, on the sagittal plane of the knee MRI for each patient. The differences between the study group and the control group were compared. **Results:** 1. Significant differences were found among the three groups of patients in the measurements of the middle cartilage of the lateral femoral condyle, the posterior cartilage of the lateral femoral condyle, the anterior cartilage of the lateral tibial plateau, the middle cartilage of the lateral tibial plateau, and the posterior cartilage of the lateral tibial plateau ($P < 0.05$). 2. No significant differences were observed in the measurements of the anterior cartilage of the lateral femoral condyle, the cartilage of the medial femoral condyle, and the cartilage of the medial tibial plateau ($P > 0.05$). 3. Pairwise comparisons between the three groups revealed that: In the comparisons between the normal meniscus control group and both the intact discoid meniscus group and the ruptured discoid meniscus group, significant differences were found in the above five measurement points ($P < 0.05$). In the comparison between the intact discoid meniscus group and the ruptured discoid meniscus group, no significant differences were found in these five measurement points ($P > 0.05$). **Conclusion:** Based on MRI observations, discoid meniscus affects the cartilage thickness of the weight-bearing surface of the lateral femoral condyle and the lateral tibial plateau. This effect originates from the discoid meniscus itself, meaning that the cartilage thickness in the aforementioned areas is influenced by the presence of a discoid meniscus, regardless of whether it is ruptured or not.

Keywords

Discoid Meniscus, Articular Cartilage Thickness, Magnetic Resonance Imaging

Copyright © 2025 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

盘状半月板是一种形态异常的半月板，通常发生在外侧，内侧较为少见。亚洲人群中的盘状半月板发病率较高，约为 10%~13%，而在欧美等西方世界，盘状半月板的发病率约为 3%~5% [1]。外侧盘状半月板由 Young 在尸检标本中首次发现[2]，它较正常的半月板大而厚，因其体部类似盘状而得名。Watanabe 将盘状半月板分为三型，即完全型、不完全型、Wrisberg 型三型[3]。完全型盘状半月板指覆盖整个胫骨外侧平台的稳定且完整的盘状半月板[4]。相较于正常的外侧半月板，盘状半月板由于形态异常，可能导致机械应力异常，是关节软骨损伤的危险因素[5]。还有学者通过研究认为，伴有软骨病变的患者相较于没有软骨病变的患者，预后更差[6]。磁共振成像作为无创技术，对早期软骨损伤诊疗有较高价值[7][8]。因此，本研究通过 MRI 分析，观察破裂及未破裂的 CDLM 及正常外侧半月板对照组的各区软骨厚度差异，以更好地了解干预及治疗盘状半月板的潜在意义。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

回顾性收集 2023 年 2 月至 2024 年 8 月期间就诊于安徽医科大学第一附属医院运动创伤与关节镜外科的患者的临床资料。本研究符合《赫尔辛基宣言》和安徽医科大学关于涉及人类研究的伦理规定，且得到患者的知情同意。

纳入标准：1. 年龄 18~55 岁；2. 具有我院完整的核磁共振资料。

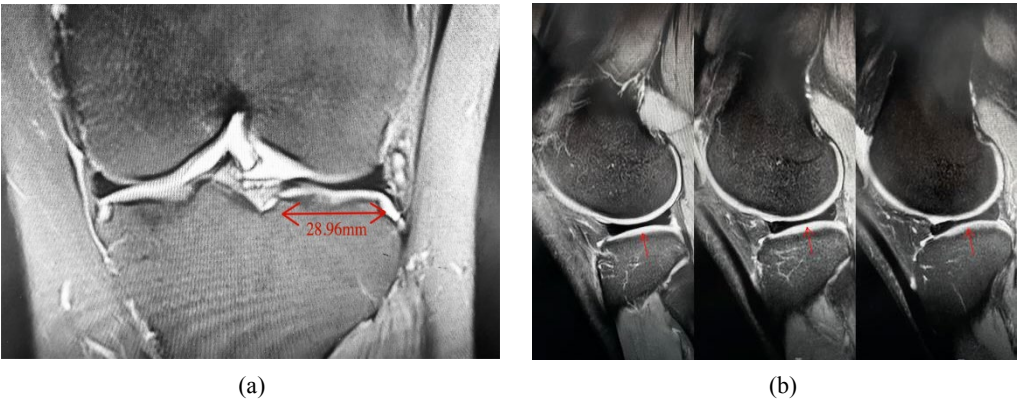
排除标准：1. 外侧盘状半月板合并其他膝关节疾病的患者；2. 合并痛风、感染、糖尿病、风湿、类风湿、系统性红斑狼疮等其他疾病的患者；3. 曾接受过膝关节镜手术；4. 膝关节先天发育异常及膝关节力线改变明显的患者；5. 膝关节严重创伤的患者。

盘状半月板诊断标准：1. 冠状面上半月板自由边缘与体部外周之间的横向距离大于 15 mm 或最小的半月板宽度与最大的胫骨宽度比值超过 20%；2. 连续 3 个或更多 5 mm 厚的矢状面图像上显示半月板前后角连续(即领结征)；3. 水平位上显示外侧半月板的盘状形态覆盖超过胫骨平台 80% 的区域。盘状半月板判断示例图见图 1。

根据本研究的选入及排除标准，共 120 例患者纳入此研究，根据磁共振检查结果，将患者分为 3 组：40 例 CDLM 破裂组，40 例 CDLM 未破裂组，以及将 40 例正常膝关节外侧半月板分为对照组。三组一般临床资料见表 1。

2.2. 测量方法

使用美国 GE 磁共振扫描仪对纳入患者进行膝关节 MRI 扫描，实验者协助患者调整体位，保持标准平卧位，使用专用膝关节线圈，确保患者股四头肌处于伸直并放松的状态。扫描范围应涵盖水平位、冠状位和矢状位。随后利用 RadiAntViewer 对患者的磁共振影像学资料进行分析。在未告知患者分组的



(a) 图示冠状面上半月板自由边缘与体部外周之间的横向距离大于 15 mm; (b) 图示连续 3 个或更多 5 mm 厚的矢状面图像上显示半月板前后角连续

Figure 1. Diagrams of discoid lateral meniscus
图 1. 盘状半月板示例图

Table 1. Demographics of the three groups of patients (n = 120)
表 1. 患者(n = 120)的一般资料

分组	对照组 (n = 40)	完整 DLM 组 (n = 40)	破裂 DLM 组 (n = 40)	检验值	P 值
性别(男/女)	14/26	15/25	14/26	$\chi^2 = 0.072$	0.964
年龄($X \pm SD$)	33.95 ± 8.90	33.76 ± 9.62	33.80 ± 9.03	$F = 0.009$	0.991
体重指数(kg/m^2 , $X \pm SD$)	23.11 ± 4.44	23.03 ± 2.27	23.35 ± 3.12	$F = 0.318$	0.624

注: 1. 体重指数为体重(kg)除以身高(m)的平方; 2. 各组性别、年龄及体重指数间比较均无显著差异($P > 0.05$)

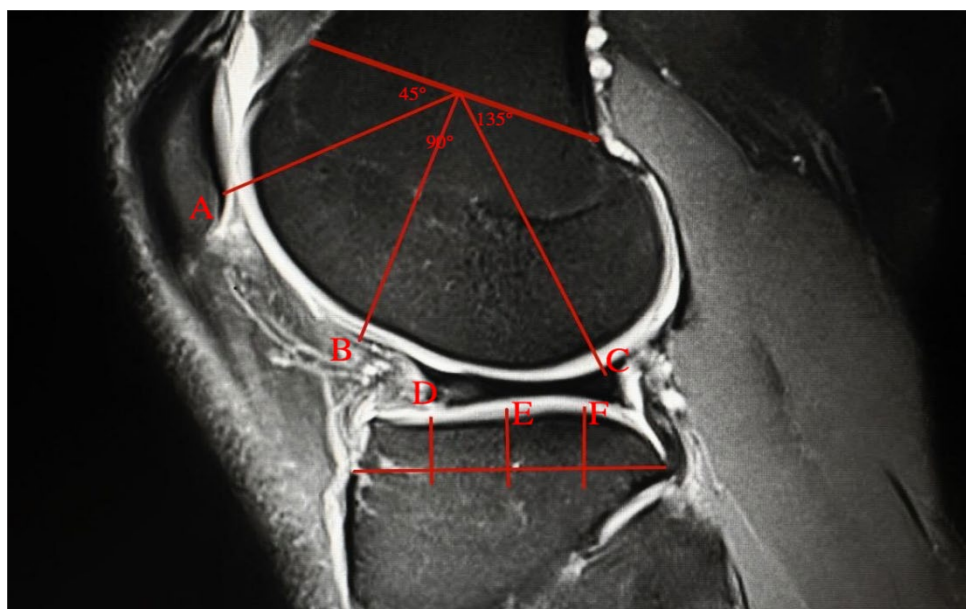
前提下, 由两名专业骨科医生及一名放射科医生分别独立测量每位患者股骨外侧髁、股骨内侧髁及内侧胫骨平台、外侧胫骨平台的 12 个区域的关节软骨厚度。10 天后测量人员再次进行测量, 取平均值得出结果。

2.3. 测量指标

在冠状位图像上, 确定股骨外侧髁最低点所在的层面, 并观测该层面的对应的矢状位图像。在矢状位层面上, 连接股骨骨骺线的前缘和后缘, 并找到该连线的中点, 以该中点为起点, 分别画出与该线呈 45° 、 90° 、 135° 的直线, 这些直线与软骨的交点依次记为 A、B、C 三点, 在此同一矢状位层面上继续选取胫骨平台关节软骨的前 1/4 交点、中点、后 1/4 交点处记为 D、E、F 三点; 同理在内侧选取 G、H、I、J、K、L 六个测量点(测量精确度为 0.01 mm)。其中 A 点和 G 点位于股骨髁的前方; B 点和 H 点位于股骨髁的中间; C 点和 I 点位于股骨髁的后方。D、E、F、J、K、L 六处测量点均位于胫骨平台。选取测量点位后测量“潮线”结构至关节软骨表面的距离。(潮线(tidemark)位于关节软骨的放射层和钙化层之间, 是一种特殊的组织学结构, 类似略有波浪的线条。)各测量点见图 2。

2.4. 统计学处理

所有数据使用 IBM SPSS 27.0 软件进行分析, 用均值 $\pm$ 标准差计算统计定量数据实验结果。正态性评估使用 Shapiro-Wilk 法进行, 用 T 检验进行定量资料比较, 使用单因素 ANOVA 进行多重比较。 $P < 0.05$ 代表相关结果具有统计学差异。



(1) A 测量点: 股骨外侧髁前方测量点; (2) B 测量点: 股骨外侧髁中间测量点; (3) C 测量点: 股骨外侧髁后方测量点; (4) D 测量点: 外侧胫骨平台前方测量点; (5) E 测量点: 外侧胫骨平台中间测量点; (6) F 测量点: 外侧胫骨平台后方测量点

Figure 2. Examples of measurement points (using the lateral meniscus as an example)

图 2. 各测量点示例图(以外侧半月板举例)

3. 结果

3.1. 一般资料结果

三组患者的年龄、性别和体重指数均无统计学差异。详细数据见表 1。

3.2. 各区域各测量点测量结果

三组患者在膝关节四个区域内(股骨外侧髁、股骨内侧髁、胫骨外侧平台、胫骨内侧平台)软骨的平均厚度见表 2, 其中 B(股骨外侧髁中间软骨)、C(股骨外侧髁后方软骨)、D(外侧胫骨平台前方软骨)、E(外侧胫骨平台中间软骨)、F(外侧胫骨平台后方软骨)五个测量点的数值间的差异具有统计学意义($P < 0.05$), 其中对照组、完整盘状半月板组、破裂盘状半月板组三组 B 点测量值分别为: 1.55 ± 0.25 mm、 1.44 ± 0.10 mm、 1.44 ± 0.22 mm; C 点测量值分别为: 1.66 ± 0.19 mm、 1.56 ± 0.16 mm、 1.56 ± 0.20 mm; D 点测量值分别为: 1.49 ± 0.15 mm、 1.27 ± 0.12 mm、 1.25 ± 0.20 mm; E 点测量值分别为: 1.48 ± 0.19 mm、 1.33 ± 0.14 mm、 1.31 ± 0.21 mm; F 点测量值分别为: 1.52 ± 0.22 mm、 1.35 ± 0.12 mm、 1.30 ± 0.24 mm。提示完整或破裂的盘状半月板可能会影响股骨外侧髁负重面及外侧胫骨平台的软骨厚度; 而 A、G、H、I、J、K、L 测量值之间未见统计学差异, 提示外侧半月板的形态改变/是否破裂均不影响股骨内侧髁及股骨外侧髁非负重面的软骨厚度。

3.3. 差异测量点间的两两比较

三组差异测量点数据的组间两两比较(见表 3), B、C、D、E、F 五组测量点在正常半月板对照组分别与完整盘状半月板组、破裂盘状半月板组比较均有统计学差异($P < 0.05$), 在完整盘状半月板组、破裂盘状半月板组组间比较均未见统计学差异($P > 0.05$)。提示相较正常半月板, 盘状半月板无论是否破裂, 均

对股骨外侧髁的负重面与外侧胫骨平台的软骨厚度有影响；在 18~55 岁的患者中，破裂的盘状半月板相较于完整的盘状半月板，并未明显影响软骨厚度。

Table 2. Comparison of measurement values at different measurement points among the three groups of patients (Unit: mm)
表 2. 三组患者不同测量点的测量值比较(单位: mm)

测量点	对照组(n = 40)	完整盘状半月板组(n = 40)	破裂盘状半月板组(n = 40)	F 值	P 值
A	1.82 ± 0.26	1.80 ± 0.18	1.80 ± 0.27	0.074	P > 0.05
B	1.55 ± 0.25	1.44 ± 0.10	1.44 ± 0.22	4.128	P < 0.05
C	1.66 ± 0.19	1.56 ± 0.16	1.56 ± 0.20	3.858	P < 0.05
D	1.49 ± 0.15	1.27 ± 0.12	1.25 ± 0.20	26.857	P < 0.05
E	1.48 ± 0.19	1.33 ± 0.14	1.31 ± 0.21	10.470	P < 0.05
F	1.52 ± 0.22	1.35 ± 0.12	1.30 ± 0.24	14.026	P < 0.05
G	1.65 ± 0.22	1.64 ± 0.14	1.66 ± 0.23	0.097	P > 0.05
H	1.60 ± 0.23	1.58 ± 0.11	1.59 ± 0.17	0.176	P > 0.05
I	1.59 ± 0.21	1.61 ± 0.11	1.62 ± 0.20	0.244	P > 0.05
J	1.54 ± 0.19	1.50 ± 0.13	1.52 ± 0.16	0.527	P > 0.05
K	1.54 ± 0.20	1.51 ± 0.10	1.51 ± 0.17	0.587	P > 0.05
L	1.47 ± 0.16	1.47 ± 0.11	1.47 ± 0.13	0.051	P > 0.05

注：(1) A 测量点：股骨外侧髁前方测量点；(2) B 测量点：股骨外侧髁中间测量点；(3) C 测量点：股骨外侧髁后方测量点；(4) D 测量点：外侧胫骨平台前方测量点；(5) E 测量点：外侧胫骨平台中间测量点；(6) F 测量点：外侧胫骨平台后方测量点；(7) G 测量点：股骨内侧髁前方测量点；(8) H 测量点：股骨内侧髁中间测量点；(9) I 测量点：股骨内侧髁后方测量点；(10) J 测量点：内侧胫骨平台前方测量点；(11) K 测量点：内侧胫骨平台中间测量点；(12) L 测量点：内侧胫骨平台后方测量点

Table 3. Comparison of MRI measurements in three groups of patients
表 3. 三组患者 MRI 测量值的比较

测量点	对照组 vs 完整盘板组 P 值	对照组 vs 破裂盘板组 P 值	完整盘板组 vs 破裂盘板组 P 值
B	<0.05	<0.05	>0.05
C	<0.05	<0.05	>0.05
D	<0.01	<0.01	>0.05
E	<0.01	<0.01	>0.05
F	<0.01	<0.01	>0.05

注：(1) B 测量点：股骨外侧髁中间测量点；(2) C 测量点：股骨外侧髁后方测量点；(3) D 测量点：外侧胫骨平台前方测量点；(4) E 测量点：外侧胫骨平台中间测量点；(5) F 测量点：外侧胫骨平台后方测量点

4. 讨论

半月板是膝关节内部的重要组成部分，是一种月牙状纤维软骨，内侧较大近似“C”型，外侧较小近似“O”型[9]。正常半月板的形态和结构与股骨髁的弧形结构相匹配，能够有效地将膝关节承受的应力分散到较大面积上，会通过扩张使得应力分散，同时通过桶箍效应限制其过度扩展，从而确保各部分均匀受力，维持自身功能并避免损伤。但盘状半月板结构上大而厚的缺陷使得其无法像正常半月板那样与股

骨骼的弧形结构非常良好的匹配。盘状半月板顾名思义外观类似盘状,失去内“C”外“O”的类似半月板的形状。相较正常半月板,盘状半月板的中央完全被组织填充,或中央区的缺如比正常半月板要小,边缘部比正常半月板要厚。在超微结构上,有学者通过透射电子显微镜观察到,盘状的外侧半月板相较于正常的外侧半月板,其内胶原纤维数量减少、结构混乱,因此认为这也可能是导致盘状半月板更易撕裂和退变的原因[7][10]。正常半月板的胶原纤维的排列方向主要为两种,表面的纤维则呈放射状排列,剩下的大部分纤维则呈现环形排列。而通过透射电子显微镜对盘状半月板样本进行了详细的分析显示,所有盘状半月板标本中的胶原纤维排列均存在异质性,且这种排列模式在完整和不完全盘状半月板组中均以相似的模式出现。且盘状半月板的胶原浓度较低,类似退化半月板。胶原纤维作为半月板的主要结构成分,其数量的减少意味着半月板的整体强度和韧性降低,从而增加了半月板的脆弱性。这种脆弱性可能导致半月板在日常活动或轻微外力作用下更容易发生损伤,如撕裂或进一步磨损周围软骨结构[11]。其次,胶原纤维的无序排列可能影响半月板的正常力学功能,尤其是在负重期间。正常的半月板通过其有序排列的胶原纤维网络,能够有效地消散环向应力,减轻周围软骨的负担,保护膝关节的稳定性。然而,盘状半月板中胶原纤维的无序排列可能导致其在负重时无法有效地分散应力,从而增加了半月板及其周围结构如软骨等在生理活动中的损伤风险,导致多种多样的临床症状[10]。Dejie Fu 等学者通过大规模临床研究发现,在盘状半月板的损伤类型中,复杂性撕裂的发生率高达 46.8%,显著高于水平状撕裂和放射状撕裂。值得注意的是,研究结果显示不同撕裂类型患者间关节软骨病变的发生率未呈现统计学差异,这一发现提示无论盘状半月板撕裂类型如何,半月板缓冲和应力传导功能的减退都可能对关节软骨造成相似程度的损伤。从病变分布特征来看,外侧胫骨平台软骨损伤最为常见(11.6%),这与该部位长期承受异常应力负荷的解剖学特性相符[5]。关节软骨的构成成分包括软骨细胞和细胞外基质,两者中细胞外基质占了关节软骨的大部分体积,其主要成分包括了水、II 型胶原蛋白和蛋白聚糖。水是细胞外基质的重要组成部分,它赋予软骨良好的润滑性,使关节在运动过程中能够承受压力并减少摩擦;II 型胶原则构成了软骨的支架结构,为软骨提供了必要的强度和韧性;蛋白聚糖则通过其糖胺聚糖侧链与水结合,进一步增强了软骨的抗压性和弹性。生理状态下,关节软骨细胞外基质长期处于一种合成与分解代谢的动态平衡状态,这种平衡是保持关节软骨正常功能的基础[12]。然而,当这种平衡被打破,如应力分布不均、某些区域应力较大时,此时细胞外基质就会发生合成减少或分解增加等现象,导致基质成分的丢失和结构的破坏,此时软骨的功能可能就会受到影响。例如,蛋白聚糖的减少会降低软骨的抗压性,使软骨更容易受到机械应力的损伤;II 型胶原的分解会导致软骨支架结构的松散,进一步削弱软骨的力学性能。细胞外基质的损伤不仅会影响软骨的物理和力学特性,还会引发一系列的生物学反应,如炎症因子的释放和软骨细胞的凋亡,从而进一步加速软骨的损伤和退变进程[13]。关节软骨是一种特殊组织,其内无血管、无淋巴且无神经支配,其主要通过滑膜分泌的关节液获取营养,而这一扩散方式导致其代谢效率低下。更重要的是,软骨细胞被包裹于由胶原纤维、蛋白聚糖等构成的致密的细胞外基质中,这种结构虽赋予软骨良好的力学性能,却严重限制了软骨细胞的迁移能力。当软骨发生损伤(如机械性磨损或创伤)时,受损区域的软骨细胞难以迁移至损伤部位进行修复,同时局部炎症微环境可能进一步抑制软骨细胞的合成代谢功能。伴有软骨病变的患者相较于没有软骨病变的患者,功能恢复与症状改善往往更不尽人意[14]。因此临床医师在制定关于盘状半月板的诊疗方案时,关注点不能仅局限于半月板本身,也应通过各种辅助检查或关节镜全面评估软骨的健康状况。盘状半月板患者的膝关节 X 线通常正常,偶尔可能显示一些放射学征象,如外侧股骨髁呈方形、外侧膝关节间隙轻度增宽等;关节镜检查可在镜下直视半月板的组织形态结构及损伤情况,但作为一项有创检查技术,存在手术及麻醉风险,且价格较为昂贵,术后还需要康复锻炼,较高的创伤与成本导致患者的接受度较低,难以作为可大规模开展使用的辅助检查手段。磁共振成像具有软组织分辨率高的特点,作为一项无创检查技术,能够清晰地显示半月板的形态与内部

信号、邻近结构的情况,对早期软骨损伤诊疗亦有较高价值[15]。根据2023年的中国专家指南,MRI在评估盘状半月板损伤及撕裂方面具有极高的诊断意义,其敏感度为97.75%,特异度为98.26%,准确率为97.97%,因此可作为临床上可普及的检查手段。曾经一项基于MRI的研究发现,盘状半月板的半月板前后径以及半月板前后径/胫骨平台前后径均小于正常的外侧半月板[1]。杨宇等学者针对于此的进一步研究也揭示了盘状半月板在负重状态下的独特力学行为:当盘状半月板承受应力时,因其半月板前后径以及半月板前后径/胫骨平台前后径均小于正常的外侧半月板,导致向前后方向扩展的能力有限,前后径增加小于正常半月板,导致其能够承受、分散应力的有效面积减小,相同负重条件下,盘状半月板组织平均承受的应力相对较大。在负重过程中,盘状半月板不同部位受到的压力应力分布不均匀,局部区域承受的压力应力显著增加。这种不均匀的应力分布现象不仅加重了半月板本身的负担,还导致负重的胫骨平台软骨受到更大的压力,增加了软骨磨损的风险[16]。由于盘状半月板的前后径较小且扩展能力有限,其体部在膝关节负重时更容易受到应力集中作用,承受的挤压应力最大[17]。这种集中应力除了可能导致盘状半月板局部损伤外,还可能通过改变膝关节内部的力学平衡,影响其他邻近的关节内的结构,如软骨,进而引发一系列膝关节疾病如骨关节炎等。半月板能够承受各种各样的不同的力,如张力、压缩力、剪切力等[18]-[20]。盘状半月板的异常结构及形态使膝关节容易出现异常的生物力学状态。在针对人类步态周期的研究中,Lin等学者使用运动捕捉综合系统,比较和分析了撕裂的外侧盘状半月板、撕裂的外侧半月板和正常的外侧半月板的膝关节的运动概况。这项研究指出,相较于其他两组膝关节,外侧盘状半月板撕裂组的最大外侧胫骨平移比另两个组小2 mm,最大内侧胫骨旋转减少2°[21]。对患有双侧盘状半月板的患者(一侧有症状而另一侧无症状)进行三维步态的分析研究,发现在人类步态运动周期中的足跟接触地面及中期支撑阶段,症状侧膝关节相较于无症状侧膝关节及正常半月板膝关节,在矢状面层面与冠状面层面上的膝关节活动范围减少[16]-[22]。我们推测这可能是一种人体受痛后的自我保护机制。站立状态时,半月板的结构可以协助将部分垂直压缩力转化为水平或环形的应力,减少了部分负重的负担[18][23][24]。膝关节每弯曲30°,股骨与胫骨的接触面积就会减少4%,导致半月板的接触力发生改变[25]。膝关节弯曲度与半月板承载力之间的关系已被广泛研究,膝关节弯曲度为90°时,相比伸直位,其轴向负荷多了约85%,大大加重膝关节的承重负担[26]。此次研究笔者采用回顾性分析,收集120例就诊我科的患者临床数据,按照半月板的形态及是否破裂将这些数据分为三组,其中40例正常外侧半月板对照组、40例完整无损的盘状半月板患者组和40例已破裂的盘状半月板患者组,分析其基于MRI的影像学数值差异。在测量点的选择上,选取A、B、C、D、E、F、G、H、I、J十二个测量点作为分析软骨厚度的区域,其中A点和G点位于股骨髁的前方,在膝关节屈伸运动中主要与髌骨关节面相对运动,正常情况下不接触胫骨平台,在日常生活行为和运动表现中承担较少的重力;B点和H点位于股骨髁的中间,在直立位时接近股骨髁的最低点,接近胫骨平台,屈曲至一定角度后可与髌骨关节面相对运动;C点和I点位于股骨髁的后方,在膝关节屈曲时(如蹲起)才与胫骨平台相对运动。D点和J点位于胫骨平台的前方、E点和K点位于胫骨平台的中间、F点和L点位于胫骨平台的后方。12个测量点中,B(股骨外侧髁中间软骨)、C(股骨外侧髁后方软骨)、D(外侧胫骨平台前方软骨)、E(外侧胫骨平台中间软骨)、F(外侧胫骨平台后方软骨)五个测量点的数值间差异具有统计学意义($P < 0.05$),其中对照组、完整盘状半月板组、破裂盘状半月板组三组B点测量值分别为: 1.55 ± 0.25 mm、 1.44 ± 0.10 mm、 1.44 ± 0.22 mm; C点测量值分别为: 1.66 ± 0.19 mm、 1.56 ± 0.16 mm、 1.56 ± 0.2 mm; D点测量值分别为: 1.49 ± 0.15 mm、 1.27 ± 0.12 mm、 1.25 ± 0.20 mm; E点测量值分别为: 1.48 ± 0.19 mm、 1.33 ± 0.14 mm、 1.31 ± 0.21 mm; F点测量值分别为: 1.52 ± 0.22 mm、 1.35 ± 0.12 mm、 1.30 ± 0.24 mm。而三组患者不承担主要负重的A测量点的数据分别为: 1.82 ± 0.26 mm、 1.80 ± 0.18 mm、 1.80 ± 0.27 mm,三组数据间无统计学差异($P > 0.05$)。说明在三组患者中,不同状态的外侧盘状半月板并未影响外侧膝关节所有区域的软骨厚度,仅影响股骨外侧

髌负重区及外侧胫骨平台的平均软骨厚度。进一步两两比较我们发现, 股骨外侧髌承重区与外侧胫骨平台的软骨厚度在未破裂盘状半月板组和已破裂盘状半月板组之间并无统计学差异。该结果反映了盘状半月板对于软骨厚度的影响: 对于小于 55 岁的成年人来说, 盘状半月板会导致股骨外侧髌负重区和外侧胫骨平台区域软骨变薄, 无关其盘板是否破裂。值得注意的是, 在盘状半月板患者中, 尽管 C 测量点位置相对靠后, 在日常直立行为中(如站立、步行等)并非膝关节最低点, 在日常常见的膝关节屈曲行为中(如坐立等)也并未完全承担身体负重, 其测量值与正常对照组相比仍有统计学差异($P < 0.05$)。已有许多学者通过生物力学研究证实膝关节的弯曲度增大会增加关节的轴向负荷[6]。结合以上研究发现和现有理论我们合理推测, 尽管膝关节屈曲且负重的行为在日常生活中并不占多数(如蹲起、上下楼等), 但这种为数不多的增加膝关节负荷的行为仍会显著影响盘状半月板患者膝关节股骨外侧髌后方软骨厚度。这为无症状/未破裂的盘状半月板患者日常行为方式与盘状半月板术后患者的康复模式提供了新的思路与借鉴。

固然盘状半月板多发生在外侧, 但临床中我们应将膝关节当作一个整体, 观察面仅局限于外侧是不够的, 不能忽视内侧结构有无改变。有学者研究发现, 外侧盘状半月板宽厚的形态会导致膝关节外侧间室增大, 从而使应力在传导中偏向内侧, 并且集中在内侧半月板和内侧膝关节软骨的一部分区域[27]。外侧盘状半月板患者也常出现膝关节内翻畸形, 这种内翻畸形会增大胫股关节内侧的内收力矩, 这种力学上的改变使得膝关节应力偏向内侧, 导致膝关节内侧间室压力增加, 进而加重内侧半月板及周围软骨的负荷[28]。而膝关节外侧盘状半月板是否会影响膝关节内侧股骨髌软骨、胫骨平台内侧软骨, 目前尚无确切研究。通过本实验研究, 笔者发现盘状半月板患者膝关节内侧室软骨结构的厚度(包括股骨内侧髌及内侧胫骨平台软骨)并未受到影响, 其中三组间比较未见统计学差异($P > 0.05$)。李凯[29]等学者发现膝关节外侧盘状半月板患者也可存在内侧半月板外凸现象, 尽管这种外侧盘状半月板与内侧半月板外凸之间的因果关系尚未得到验证, 但这种现象提示诊治外侧盘状半月板时的视野不能局限, 不能仅仅关注外侧盘状半月板本身, 治疗原发病的同时应仔细探查, 进行个体化、详细化治疗, 以尽可能达到满意的临床效果。

对于无症状型盘状半月板(通常在 MRI 检查中偶然发现), 现有共识普遍支持保守观察的临床思路。研究表明, 部分无症状盘状半月板患者可长期保持功能稳定, 无需手术干预, 其自然使用寿命与正常形态半月板无显著差异。然而, 此类患者仍建议通过定期随访(如每 1~2 年进行临床评估联合影像学监测)以早期识别稳定性改变或潜在撕裂风险。这种“动态监测”策略的理论依据在于: 盘状半月板因组成结构及形态异常, 即使未出现症状, 其退变速率仍可能高于正常半月板; 另外, 盘状半月板更易受到剪切应力影响, 进而影响周围关节软骨。当盘状半月板患者出现症状时, 治疗决策需遵循阶梯化原则。初始阶段应以保守治疗为核心, 包括非甾体抗炎药控制炎性反应、阶段性制动以减少机械性刺激, 以及针对性物理治疗(如股四头肌强化训练)。值得注意的是, 保守治疗的目标不仅是缓解症状, 更需通过生物力学重塑(如纠正下肢力线异常或加强膝关节周围肌肉力量保护关节)降低关节局部应力, 从而延缓半月板退变进程[30][31]。然而, 当患者出现持续性疼痛、反复关节积液或典型机械性症状(如交锁、弹响伴活动受限)时, 需高度警惕半月板或软骨的损伤, 此时保守治疗失败率显著升高, 应积极考虑关节镜评估[32]。Ahn 等人的长期随访研究(平均随访 12 年)表明, 若从症状出现至手术时间超过 6 个月, 患者术后进展为骨关节炎的风险增加 3.2 倍, 这一结果强调早期干预对保护关节软骨的重要性[30]。近年来, 盘状半月板的治疗策略发生了显著改变。传统上治疗盘状半月板的主要方法是通过全部/部分切除半月板来缓解症状[33]。值得注意的是, 半月板部分或全切除后会导致接触面积和接触力的改变。Paletta 等学者对 10 具尸体的膝关节进行解剖发现, 这些尸体部分切除约 50%左右面积的半月板后, 局部接触负荷的峰值增加了约 235%~335%。Kurosawa 等学者在针对半月板切除手术的研究中发现, 完全切除半月板后, 胫骨和股骨关节面之间的接触面积减少了约 50%, 接触力却增加了约 2~3 倍; 而部分切除(16%~34%)会导致关节软骨

上的接触力增加超过 350% [24] [34] [35]。盘状半月板全切/部分切除术后的长期随访研究均出现不可忽视的并发症,特别是膝关节外侧间室的骨关节炎[31] [33] [36]。因此,目前关节镜下半月板成形术(Discoid Meniscus Saucerization)已成为症状性盘状半月板的标准术式,该手术方式的理念是通过修整中央增厚增宽的部分以恢复半月板正常形态,同时尽可能保留外周稳定结构。该术式既部分切除了异常组织重塑半月板形态,又保留了部分半月板的张力结构,同时尽可能恢复了关节面的匹配性[32]。而对于外周存在撕裂或合并外周附着不稳的病例,需考虑修复外周撕裂部分。目前临床常用的半月板撕裂的手术修复技术包括由内向外(inside-out)、由外向内(outside-in)或全内缝合(all-inside),联合半月板-关节囊缝合术或锚钉加强修复,以恢复半月板的环形张力[1]。但不论采取何种术式,仍有超过一半病例外侧间室中发现了骨关节炎进展[24] [27]。对于易合并软骨病变的群体,如女性、BMI > 23.0 kg/m²或病程时间较长的患者(>6个月) [5],尽早的发现/影像学随访和日常生活的提前干预显得尤为重要。

尽管本研究在探讨盘状半月板与关节软骨厚度之间关系这一方面取得了一定的成果,但仍存在一些局限性。本研究的样本量已是类似研究中相对较大的,但剔除了年龄 <18岁、>55岁及合并膝关节严重创伤或合并全身性疾病的患者,导致样本量相对减少,进一步扩大样本量是未来研究的目标,可以提高研究结果的可靠性和普适性。其次,本研究未考虑患者的年龄、性别和 BMI 等混杂因素,这些因素可能对关节软骨厚度产生影响。例如,年龄增长与关节软骨厚度的降低密切相关,年龄增长可能导致膝关节内部结构的退变以及下肢力线的改变。而性别和 BMI 也可能影响关节软骨的健康,比如相同年龄段男性的平均软骨厚度大于女性、高 BMI 指数也可能会影响软骨厚度,未来进行更详尽的分组分层研究也是我们考虑的重点。第三,本次研究使用的核磁共振机器的单层扫描厚度为 5 mm,如果使用更薄的扫描厚度,其结果可能更为精确;此外,由于实验条件的限制,我们未能进行长期的随访研究,无法评估盘状半月板与关节软骨厚度之间的长期关系。未来我们将长期随访,揭示盘状半月板与关节软骨厚度之间的动态关系,为临床治疗提供更有力的依据。未来的研究还可以结合分子生物学研究,进一步探讨盘状半月板与关节软骨损伤之间的病理生理机制。例如,分子生物学研究可以探索关节软骨在盘状半月板影响下的基因表达变化,为开发新的治疗策略提供理论基础。

综上所述,本文的研究结果表明:正常外侧半月板组与完整的未破裂的盘状半月板组、破裂的盘状半月板组膝关节内股骨外侧髁中间测量点、股骨外侧髁后方测量点及胫骨外侧平台各区测量点的软骨厚度存在差异;而不同状态的盘状半月板组膝关节内各测量点之间没有统计学差异。以上差异可能是动态观察与早期识别盘状半月板患者软骨改变的有效影像学观测指标。

参考文献

- [1] Tapasvi, S., Shekhar, A. and Eriksson, K. (2021) Discoid Lateral Meniscus: Current Concepts. *Journal of ISAKOS*, **6**, 14-21. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000162>
- [2] Young, R. (1889) The External Semilunar Cartilage as a Complete disc. In: Cleland, J., Mackay, J. and Young, R., Eds., *Memoirs and Memoranda in Anatomy*, Williams and Norgate, 179.
- [3] Li, Z., Fan, W., Dai, Z., Zhao, H., Liao, Y., Lei, Y., et al. (2020) Widening of the Popliteal Hiatus on Sagittal MRI View Plays a Critical Role in the Mechanical Signs of Discoid Lateral Meniscus. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **29**, 2843-2850. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06179-y>
- [4] Watanabe, M., Takeda, S. and Ikeuchi, H. (1969) Atlas of Arthroscopy. 2nd Edition, Igakushoin Ltd.
- [5] Fu, D., Guo, L., Yang, L., Chen, G. and Duan, X. (2014) Discoid Lateral Meniscus Tears and Concomitant Articular Cartilage Lesions in the Knee. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, **30**, 311-318. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.11.029>
- [6] Chatain, F., Robinson, A.H.N., Adeleine, P., Chambat, P. and Neyret, P. (2000) The Natural History of the Knee Following Arthroscopic Medial Meniscectomy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **9**, 15-18. <https://doi.org/10.1007/s001670000146>
- [7] Banjar, M., Horiuchi, S., Gedeon, D.N. and Yoshioka, H. (2022) Review of Quantitative Knee Articular Cartilage MR

- Imaging. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, **21**, 29-40. <https://doi.org/10.2463/mrms.rev.2021-0052>
- [8] 姚崇一, 陈亚伟, 景会娜. 磁共振 3D-WATS 序列对膝关节软骨损伤的诊断价值研究[J]. 航空航天医学杂志, 2023, 34(11): 1326-1328.
 - [9] Makris, E.A., Hadidi, P. and Athanasiou, K.A. (2011) The Knee Meniscus: Structure-Function, Pathophysiology, Current Repair Techniques, and Prospects for Regeneration. *Biomaterials*, **32**, 7411-7431. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.06.037>
 - [10] Atay, O.A., Pekmezci, M., Doral, M.N., Sargon, M.F., Ayvaz, M. and Johnson, D.L. (2007) Discoid Meniscus: An Ultrastructural Study with Transmission Electron Microscopy. *The American Journal of Sports Medicine*, **35**, 475-478. <https://doi.org/10.1177/0363546506294678>
 - [11] Aspden, R.M., Yarker, Y.E. and Hukins, D.W. (1985) Collagen Orientations in the Meniscus of the Knee Joint. *Journal of Anatomy*, **140**, 371-80.
 - [12] Fujii, Y., Liu, L., Yagasaki, L., Inotsume, M., Chiba, T. and Asahara, H. (2022) Cartilage Homeostasis and Osteoarthritis. *International Journal of Molecular Sciences*, **23**, Article 6316. <https://doi.org/10.3390/ijms23116316>
 - [13] Hollander, A.P., Dickinson, S.C. and Kafienah, W. (2010) Stem Cells and Cartilage Development: Complexities of a Simple Tissue. *Stem Cells*, **28**, 1992-1996. <https://doi.org/10.1002/stem.534>
 - [14] 刘娟, 王培, 谭敬安, 等. 磁共振 T2 mapping 评估不同年龄人群膝关节软骨变化价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(21): 85-87.
 - [15] Hart, E.S., Kalra, K.P., Grottkau, B.E., Albright, M. and Shannon, E.G. (2008) Discoid Lateral Meniscus in Children. *Orthopaedic Nursing*, **27**, 174-179. <https://doi.org/10.1097/01.nor.0000320545.35858.04>
 - [16] 杨宇. 青少年盘状半月板体位动态变化 MR 对比研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西医科大学, 2016.
 - [17] 穆帅, 葛永军, 吴伟峰, 等. 膝关节盘状半月板成型术后的有限元研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(22): 2087-2091.
 - [18] Sweigart, M.A. and Athanasiou, K.A. (2001) Toward Tissue Engineering of the Knee Meniscus. *Tissue Engineering*, **7**, 111-129. <https://doi.org/10.1089/107632701300062697>
 - [19] Hoshino, A. and Wallace, W. (1987) Impact-absorbing Properties of the Human Knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, **69**, 807-811. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.69b5.3680348>
 - [20] Radin, E.L., De, F. and Maquet, P. (1984) Role of the Menisci in the Distribution of Stress in the Knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **185**, 290-294. <https://doi.org/10.1097/00003086-198405000-00046>
 - [21] Lin, Z., Huang, W., Ma, L., Chen, L., Huang, Z., Zeng, X., *et al.* (2018) Kinematic Features in Patients with Lateral Discoid Meniscus Injury during Walking. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 5053. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22935-0>
 - [22] Harato, K., Sakurai, A., Kudo, Y., Nagura, T., Masumoto, K., Otani, T., *et al.* (2016) Three-dimensional Knee Kinematics in Patients with a Discoid Lateral Meniscus during Gait. *The Knee*, **23**, 622-626. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.10.007>
 - [23] Zhu, W., Chern, K.Y. and Mow, V.C. (1994) Anisotropic Viscoelastic Shear Properties of Bovine Meniscus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **306**, 34-45.
 - [24] Walker, P.S. and Erkiuan, M.J. (1975) The Role of the Menisci in Force Transmission across the Knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **109**, 184-192. <https://doi.org/10.1097/00003086-197506000-00027>
 - [25] Walker, P.S. and Hajek, J.V. (1972) The Load-Bearing Area in the Knee Joint. *Journal of Biomechanics*, **5**, 581-589. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(72\)90030-9](https://doi.org/10.1016/0021-9290(72)90030-9)
 - [26] Ahmed, A.M. and Burke, D.L. (1983) In-vitro of Measurement of Static Pressure Distribution in Synovial Joints—Part I: Tibial Surface of the Knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, **105**, 216-225. <https://doi.org/10.1115/1.3138409>
 - [27] Yasuda, T., Ota, S., Fujita, S., Onishi, E., Iwaki, K. and Yamamoto, H. (2017) Association between Medial Meniscus Extrusion and Spontaneous Osteonecrosis of the Knee. *International Journal of Rheumatic Diseases*, **21**, 2104-2111. <https://doi.org/10.1111/1756-185x.13074>
 - [28] Jones, L.D., Mellon, S.J., Kruger, N., Monk, A.P., Price, A.J. and Beard, D.J. (2017) Medial Meniscal Extrusion: A Validation Study Comparing Different Methods of Assessment. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **26**, 1152-1157. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4544-4>
 - [29] 李凯. 膝关节外侧盘状软骨损伤与内侧半月板外突的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2024.
 - [30] Ahn, J.H., Kang, D.M. and Choi, K.J. (2017) Risk Factors for Radiographic Progression of Osteoarthritis after Partial Meniscectomy of Discoid Lateral Meniscus Tear. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **103**, 1183-1188.

<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.09.013>

- [31] Washington, E.R., Root, L. and Liener, U.C. (1995) Discoid Lateral Meniscus in Children. Long-Term Follow-Up after Excision. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **77**, 1357-1361. <https://doi.org/10.2106/00004623-199509000-00011>
- [32] Fujikawa, K., Iseki, F. and Mikura, Y. (1981) Partial Resection of the Discoid Meniscus in the Child's Knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, **63**, 391-395. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.63b3.7263752>
- [33] Manzione, M., Pizzutillo, P.D., Peoples, A.B. and Schweizer, P.A. (1983) Meniscectomy in Children: A Long-Term Follow-Up Study. *The American Journal of Sports Medicine*, **11**, 111-115. <https://doi.org/10.1177/036354658301100301>
- [34] Paletta, G.A., Manning, T., Snell, E., Parker, R. and Bergfeld, J. (1997) The Effect of Allograft Meniscal Replacement on Intraarticular Contact Area and Pressures in the Human Knee. *The American Journal of Sports Medicine*, **25**, 692-698. <https://doi.org/10.1177/036354659702500519>
- [35] Kurosawa, H., Fukubayashi, T. and Nakajima, H. (1980) Load-Bearing Mode of the Knee Joint: Physical Behavior of the Knee Joint with or without Menisci. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **149**, 283-290. <https://doi.org/10.1097/00003086-198006000-00039>
- [36] Medlar, R.C., Mandiberg, J.J. and Lyne, E.D. (1980) Meniscectomies in Children. *The American Journal of Sports Medicine*, **8**, 87-92. <https://doi.org/10.1177/036354658000800205>