

Review Paper



## A Narrative Review on Knee Pain in Relation to Distal Factors and Possibilities for Non-Pharmacological Management Including 3D Printing

Jay Prashant Darjee<sup>1</sup>, Monica Chhabra<sup>2</sup>, Prabhat Kumar<sup>3</sup>, Daffylabeth Mawlieh<sup>4</sup>, Nabeel Ahmad<sup>5</sup>, \*Nitin Sahai<sup>1</sup>

1. Department of Biomedical Engineering, North Eastern Hill University, Shillong, India.
2. Department of Physiotherapy, Post Graduate Institute of Medical Education & Research, Chandigarh-160012, India.
3. Doctoral School of Basic Medicine, Medical School, University of Pécs, Pécs, Hungary.
4. Assam Down Town University, Guwahati, Assam, India.
5. Department of Biotechnology, School of Allied Sciences, Dev Bhoomi Uttarakhand University—248007, Dehradun, India.

Use your device to scan and read the article online



**Citation:** Darjee JP, Chhabra M, Kumar P, Mawlieh D, Ahmad N, Sahai N. A Narrative Review on Knee Pain in Relation to Distal Factors and Possibilities for Non-Pharmacological Management Including 3D Printing. Journal of Sport Biomechanics. 2026;12(1):108-134. <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.1.108>

<https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.1.108>



### Article Info:

**Received:** 20 August 2025

**Accepted:** 6 November 2025

**Available Online:** 12 November 2025

### Keywords:

Knee pain, Foot abnormalities, 3D printing

## ABSTRACT

**Objective** Knee pain is prevalent across all age groups, affecting approximately 25% of adults, with reported prevalence rates ranging from 10% to 60% depending on the underlying etiology. Over the past two decades, the incidence of knee pain has increased by nearly 65%, influenced by various causative factors—proximal, local, and distal. The effectiveness of its management largely depends on identifying and addressing the underlying cause.

**Methods** A comprehensive literature search was conducted in PubMed, Google Scholar, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect for articles published up to August 21, 2025. The keywords “Knee Pain,” “Foot Biomechanics,” “Non-Pharmacological Management,” “Physiotherapy,” “Physical Therapy,” and “3D Printing” were used individually and in combination.

**Results** Non-pharmacological management of knee pain is shaped by its multifactorial etiology, encompassing biomechanical, anatomical, and functional factors. Among these, lower limb biomechanics and foot morphology-based interventions have demonstrated particular relevance.

**Conclusion** This review emphasizes that knee pain is frequently influenced by distal factors such as foot biomechanics, limb alignment, and functional asymmetries. Addressing these factors through non-pharmacological interventions—including physiotherapy, orthotic modification, and emerging technologies such as 3D printing—offers promising directions for individualized care. Integrating biomechanical assessment with innovative rehabilitation strategies may enable clinicians to achieve more effective, patient-specific management of knee pain.

### \* Corresponding Author:

Nitin Sahai

**Address:** Department of Biomedical Engineering, North Eastern Hill University, Shillong, India.

**E-mail:** [nitinbiomedical@gmail.com](mailto:nitinbiomedical@gmail.com)

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2026 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

## 1. Introduction

Knee pain is a prevalent musculoskeletal complaint affecting individuals across all age groups, often resulting from complex interactions between proximal, local and distal biomechanical factors (1). The proper management of knee pain depends upon its underlying etiology (2). The foot and ankle, while often overlooked in favour of larger joints like the knee and hip, play a crucial role in human biomechanics. Serving as our primary point of contact with the ground, the foot and ankle are responsible for supporting the weight of the body, absorbing shock, and facilitating various movements, example running, jumping, and walking. Ligaments around the ankle joint, such as the deltoid ligament and the anterior talofibular ligament, provide stability. Meanwhile, tendons like the Achilles tendon, connecting the calf muscles to the calcaneus, play a pivotal role in movement and propulsion (3). As the main point of contact between the body and the ground, the foot has a significant impact on the lower limb's overall biomechanics. The stresses delivered to the knee can be greatly influenced by the complex form and function of the foot. Numerous investigations have examined this issue, highlighting the link between knee pain and foot biomechanics. As the foot adjusts to the ground and absorbs shock, pronation is a typical aspect of the gait cycle. On the other hand, internal rotation of the tibia due to excessive pronation (Fig. 1) can result in malalignment and greater strain on the knee joint (4). Flatfoot, or pes planus, where there is an absence or reduction of the medial arch, can lead to overpronation, and, as mentioned, this can influence the alignment and forces at the knee joint (5).

High Arches or Pes Cavus feet with high arches tend to underpronate (or supinate), causing the foot to be less effective at shock absorption. This can transmit increased forces to the knee, especially during high-impact activities, potentially leading to conditions like patellofemoral pain syndrome (6). The type and fit of footwear can influence foot and ankle biomechanics. Poorly fitted or unsupportive shoes might exacerbate abnormal foot biomechanics, leading to altered knee kinetics and kinematics. Elevated heels, for instance, can anteriorly tilt the pelvis, increasing knee flexion (7). Foot biomechanics plays a significant role in knee health. There may be alterations in knee biomechanics as a result of abnormalities or deviations in the anatomy or function of the foot, often resulting in pain or injury. Recognising the role of the foot can guide interventions and preventive strategies in managing knee pain. While appearing uniform in general structure, the human foot can exhibit a wide array of shapes and abnormalities. Such variations often arise from genetic factors, wear and tear, injuries, or even the choice of footwear. Understanding the different foot types and potential abnormalities is vital, as they can significantly influence gait, postural stability, and predisposition to musculoskeletal issues. When an individual with a standard foot type stands or walks, the foot pronates correctly to absorb shock and pressure, which is distributed fairly evenly throughout the foot (8). The different types of abnormal foot conditions have different impacts on gait and knee joint mechanics (Table 1). The classifications of other congenital and developmental foot conditions are attached as Appendix A.

There is minimal study on the epidemiology of knee pain concerning biomechanical origin and its risk factors. In most previous studies, the radiographical evaluation of osteoarthritis (OA) is considered a standard outcome, which may be due to the advantageous objective definition of OA. Few prospective studies have been conducted to determine the risk factors for knee pain, especially in the context of occupational physical loading and physical exercises. As compared to men, women are at a higher risk of developing knee pain (14), especially people with lower educational levels (15). Some studies show that the frequency of knee pain is higher in blue-collar than white-collar workers (16), whereas other studies contradict the same (17). In the comparison of knee pain between the two groups, the first group showed a higher incidence of knee pain. A BMI higher than 26 kg/m<sup>2</sup>, as well as being a present or ex-smoker, was associated with a higher likelihood of experiencing knee pain. Those with a history of knee trauma were almost three times more likely to develop knee pain than those with no history of knee injury (18).

The ankle joint is frequently modelled as a rigid segment in gait analysis, though it permits dorsiflexion and plantar flexion due to morphological constraints of the talocrural joint. For the uniform movement of the center of mass of the body across space, the ankle, subtalar, tarsal, metatarsal, and phalangeal joints have a significant contribution, as these joints constantly make adjustments to different terrain and the actions of the muscles that cross them to provide proper interaction between the body and types of weight-bearing surfaces during locomotion. Thus, the loss of the normal range of motion at these joints has an impact on normal gait and other joints of the entire lower limb (19).

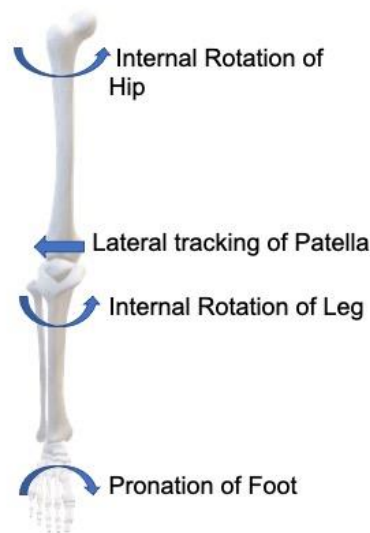


Fig. 1. Pronated foot and its bio-mechanical impact on the patellofemoral joint.

Table 1. Foot Conditions and Their Impact on Gait & Knee Joint Mechanics

| Foot Conditions            | Biomechanical Effect                                                                                   | Knee Pain Relevance                                                                                         |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flatfoot(Pes Planus) (9)   | Medial arch collapse may lead to overpronation, internal tibial rotation, and altered gait mechanics . | Excessive foot pronation may contribute to increased patellofemoral joint stress.                           |
| High Arch (Pes Cavus) (10) | Lateral loading results from a rigid arch with underpronation, which decreases shock absorption.       | Increased knee strain and ground reaction forces, particularly when running or jumping.                     |
| Overpronation (11)         | Tibial internal rotation and knee misalignment are caused by excessive inward foot roll.               | Development of medial knee OA and patellofemoral pain syndrome (PFPS).                                      |
| Rearfoot Eversion (12)     | Increases medial knee loading and modifies the subtalar joint axis.                                    | Observed in those with persistent PFP or in people who have changed gait when climbing stairs or squatting. |
| Midfoot Mobility (13)      | Overmobility modifies proximal joint kinematics and force distribution.                                | Strongly linked to the early development of patellofemoral pain, particularly in runners and teenagers.     |

The leg muscles' postural reflexes will change, depending on the surfaces on which the patient is performing locomotion, due to changes in the pressure on the plantar aspect (20). Foot orthoses are used to preserve rotational equilibrium and correct the subtalar joint axis (21), as per sagittal plane facilitation theory (22).

Considering the malalignment and shift in weight distribution due to foot and ankle deformity, it might have an effect like malalignment and muscle imbalance, leading to functional impairment and pain in proximal joints, e.g., knee, hip, and spine. For example, knee pain may worsen if the medial longitudinal arch is collapsed. Lowering the medial longitudinal arch may cause the knee joint to become malaligned, changing the knee joint's biomechanics and intensifying knee pain (23). In the relationship between the asymptomatic foot and knee pain, it is observed that knee pain has a high prevalence of PF joint involvement as compared to the tibiofemoral joint, with aggravating factors such as squatting, ascending, descending, and running, which is summarized below. Multiple studies have demonstrated a strong correlation between foot mechanics, particularly pronated foot posture, rearfoot eversion, and midfoot

mobility, and the onset or aggravation of PFP (24). Common pain-inducing activities include squatting, stair ascent/descent, kneeling, and prolonged sitting (25).

The key biomechanical factors influencing PFP are, rearfoot range of motion (ROM) during dynamic tasks (e.g., stair climbing) showed the strongest predictive value (26), increased knee flexion angles and external loads during squats elevate Patello-Femoral (PF) joint stress (27), individuals with flat feet or altered foot progression angles often exhibit malalignment or increased joint loading, though some studies reported inconsistent loading responses (28), static foot posture had less impact on knee joint mechanics in asymptomatic individuals (29), chronic PFP is associated with poorer prognosis and is more prevalent in those with greater navicular drop and pronated feet (30), medial foot loading may reduce medial knee stress, while lateral loading increases it, which is contraindicated in medial knee osteoarthritis (OA) (31). Based on extensive studies on different types of knee pain and compartments involved, the patellofemoral joint (PFJ) has a high prevalence of developing osteoarthritis as compared to the tibiofemoral compartment, studied under the high radiographic and Magnetic Resonance Imaging (MRI) evidence (32), and knee osteoarthritis is a sequela of knee pain due to repetitive overloading associated with joint cartilage degeneration (33). Whereas, studies underscore the critical role of modifiable foot mechanics in preventing and managing knee pain, especially PFP.

Three-dimensional (3D) printing has become a potential orthopaedic and rehabilitation technique in recent years. Its applications span from the production of patient-specific anatomical models for pre-surgical planning to the fabrication of personalized orthoses and prosthetic devices that optimize joint alignment and reduce knee loading (34). 3D-printed braces and insoles have demonstrated promise in treating knee pain by improving gait biomechanics, improving patient comfort, and offering customized mechanical support. Additionally, 3D printing allows for quick prototyping and affordable customisation, providing a non-pharmacological treatment option to supplement traditional treatments for musculoskeletal conditions (35). This review study attempts to objectively assess the effectiveness of non-pharmacological therapies and integrate current knowledge on distal biomechanical contributions to knee pain with the growing significance of 3D printing in customized rehabilitation strategies.

## 2. Methods

Knee pain is a complex condition frequently influenced by distal factors such as lower limb posture, foot morphology, and overall biomechanics. These interrelated factors alter the distribution of loads across the knee joint and may contribute to the onset or persistence of pain. Because non-pharmacological approaches—particularly orthotic interventions enhanced by emerging technologies like 3D printing—are gaining clinical importance, it is essential to consolidate current research in this domain. Therefore, the purpose of this narrative review was to summarize contemporary management strategies, with a special focus on 3D printing applications, and to provide an updated overview of distal biomechanical influences on knee pain.

### 2.1 Literature Search Strategy

A comprehensive literature search was performed in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar for studies published up to August 21, 2025. Both Medical Subject Headings (MeSH) and free-text keywords were used, including foot biomechanics, distal structures, orthotics, 3D printing, knee pain, patellofemoral pain, knee osteoarthritis, and non-pharmacological therapy. Boolean operators (“AND,” “OR”) were applied to refine the search. Initially, approximately 1,240 records were retrieved. After removing duplicates and irrelevant publications, 980 articles remained. Based on title and abstract screening, 260 papers were deemed potentially relevant. Following full-text evaluation, 77 studies that met the inclusion criteria and were most pertinent to the objectives of this review were selected for synthesis.

### 2.2 Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion Criteria: i. Studies examining how distal factors—such as lower limb alignment, gait mechanics, or foot and ankle morphology—contribute to the development or persistence of knee pain. ii. Studies providing data on non-pharmacological interventions, including 3D-printed orthoses, physiotherapy, footwear modification, and orthotic devices. iii. Original research (randomized controlled trials, cohort, or case-control studies) or high-quality systematic and narrative reviews.

Exclusion Criteria: i. Studies focusing exclusively on pharmacological or surgical treatments. ii. Publications not written in English. iii. Case reports lacking sufficient biomechanical or interventional information.

### 2.3 Study Selection and Data Extraction

Two independent reviewers screened all titles and abstracts to identify potentially relevant studies. Full texts of eligible papers were then reviewed in detail. Disagreements were resolved through consensus. Extracted data included study design, sample characteristics, assessed distal parameters, intervention type, outcome measures, and principal findings.

### 2.4 Data Synthesis

Given the qualitative nature of most included studies, a thematic synthesis approach was adopted. Studies were categorized into three major themes: I. The biomechanical and anatomical relationship between knee pain and distal variables. II. The effectiveness of non-pharmacological treatments such as exercise therapy, orthoses, and gait retraining. III. Innovations in orthotic design, including additive manufacturing and 3D printing technologies.

The synthesis aimed to identify consistent patterns, highlight gaps in the literature, and propose directions for future research. Overall, evidence suggests that no single non-pharmacological intervention is universally effective. Instead, multi-modal approaches—combining exercise therapy, weight control, and biomechanical correction—yield superior outcomes compared to isolated treatments. Nonetheless, high-quality, long-term comparative trials are still needed, particularly concerning the integration of 3D-printed orthoses and behavioural interventions into standard clinical care. Future studies should also prioritize protocol standardization, comparative evaluation of treatment combinations, and cost-effectiveness analyses to enhance clinical applicability.

## 3. Results

The multifactorial etiology of knee pain highlights the necessity of an integrated, non-pharmacological management approach (Fig. 2). Biomechanical, anatomical, and functional factors all play central roles in its development and persistence. Among these, interventions targeting lower limb biomechanics and foot morphology have demonstrated notable potential in alleviating symptoms and improving functional outcomes. Nevertheless, the evidence regarding their effectiveness remains mixed, with treatment success often influenced by individual patient characteristics, adherence to therapy, and the presence of comorbid conditions.

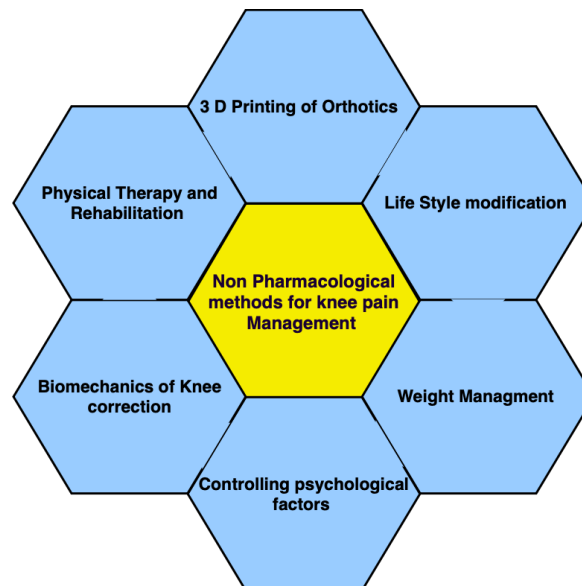


Fig. 2. Graphical summary showing the non-pharmacological management of knee pain.

### 3.1. Physical Therapy and Rehabilitation

Most studies consistently emphasize exercise-based rehabilitation as the cornerstone of non-surgical management for knee pain (36). Strengthening periarticular muscles, particularly the quadriceps, hamstrings, and calf muscles, enhances joint stability and reduces pain (37). Randomized controlled trials have demonstrated that resistance training produces superior outcomes compared with passive modalities, reinforcing the consensus that active rehabilitation provides more sustainable, long-term benefits (38). However, the magnitude of improvement varies among studies, often depending on patient adherence, exercise intensity, and program duration (39). Gait retraining and proprioceptive training have also shown significant effectiveness but require individualized adjustment based on patient-specific needs (40–42).

### 3.2. Lifestyle Modification

Obesity and excess body weight are well-established, modifiable risk factors for both the onset and progression of knee osteoarthritis and knee pain (43). The relationship is twofold: mechanical, due to increased joint loading (44), and biochemical, mediated by inflammatory cytokines released from adipose tissue (45). Numerous studies confirm that weight reduction interventions consistently alleviate pain, enhance mobility, and slow disease progression, although the extent of these benefits varies according to baseline weight and adherence (46–50).

### 3.3. Orthotic Intervention: Traditional vs 3D-Printed Devices

Evidence regarding orthotic devices remains mixed. While prefabricated orthoses provide short-term symptomatic relief, they often fail to achieve meaningful long-term biomechanical correction (51). In contrast, customized 3D-printed orthoses have demonstrated superior outcomes by improving plantar pressure distribution, gait mechanics, and pain reduction (34, 52–53).

3D printing offers key advantages such as personalized customization, rapid prototyping, and high anatomical precision, making it a transformative technology in orthotic design (54–55). Despite its promise, 3D printing remains cost-intensive and lacks sufficient evidence from large-scale randomized controlled trials (56). Additionally, 3D printing's strengths—such as fast production cycles, reproducibility, biodegradable adaptive materials, and minimal material waste (Fig. 3)—extend its application beyond orthoses to surgical templates, implants, and anatomical models. The incorporation of composite materials, such as carbon or glass fiber fillers, further enhances the structural strength and flexibility of these devices, tailoring them to specialized orthopedic requirements (57). Details are summarized in Table 2. Studies confirm that customized 3D-printed insoles outperform prefabricated models in both comfort and biomechanical correction, particularly by achieving a more even distribution of plantar loads. Reported adverse effects are minimal, suggesting that these insoles serve as a reliable and well-tolerated adjunct to physiotherapy interventions (58).

### 3.4. Psychological Factors Influencing Knee Pain and Its Management

By addressing psychological barriers through cognitive-behavioural approaches, patient adherence to rehabilitation programs can be significantly improved. Such interventions help modify maladaptive thoughts and behaviours related to pain, reducing fear-avoidance patterns and enhancing motivation for active participation. The long-term outcomes of these approaches, including improved pain coping and functional recovery, are summarized in Appendix B.

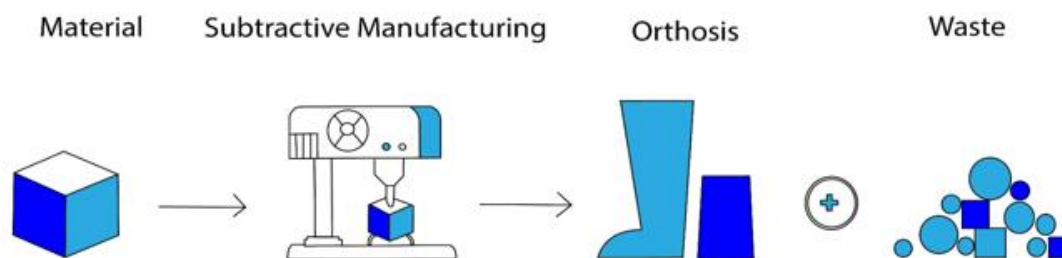


Fig. 3. Method of 3D printing.

Table 2. Application of 3D printing to develop various types of orthotic devices

| Type of orthosis               | Material Selection                                                                                                                             | Type of 3D Printing             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Ankle foot orthosis (AFO) (34) | Poly Lactic Acid (PLA),<br>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS),<br>Kevlar fiber-reinforced ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) | FDM                             |
| Knee Orthosis (35)             | ABS, Agilus30™, FLX950,<br>FLX930™                                                                                                             | MultiJet printing (MJP)         |
| Foot orthosis (59)             | PA 12 (polyamide)                                                                                                                              | MultiJet Fusion printer         |
|                                | TPU (thermoplastic polyurethane)                                                                                                               | Selective Laser Sintering (SLS) |

4. Discussion

This review confirms that knee pain arises from a complex interplay of biomechanical, functional, and psychosocial factors, reinforcing the importance of a comprehensive and individualized non-pharmacological management approach. The literature consistently emphasizes that mechanical determinants—especially lower limb alignment and distal biomechanical features such as foot morphology—play pivotal roles in both the development and persistence of knee pain. Recent umbrella reviews and EULAR guideline updates underscore the significance of personalized, multicomponent management strategies as the cornerstone of evidence-based recommendations for knee osteoarthritis (OA) and related conditions (58, 60). These strategies typically incorporate patient-centred exercise programs, weight management, and educational interventions, all of which are shown to effectively alleviate symptoms and improve physical function (61).

Technological advances have notably expanded the scope of orthotic management. The adoption of three-dimensional (3D) printing in orthotic device fabrication has gained increasing attention. Meta-analyses and emerging clinical evidence demonstrate that 3D-printed insoles and braces provide enhanced biomechanical correction, more uniform plantar pressure distribution, and greater comfort than traditional prefabricated models (62). The integration of artificial intelligence (AI) into design optimization and material innovation further enables patient-specific customization across various pathologies, marking a major step toward precision rehabilitation (63). Nevertheless, these benefits are tempered by practical challenges, including high production costs, limited scalability, and a paucity of large-scale comparative clinical trials to substantiate long-term outcomes (64).

Lifestyle interventions remain a fundamental pillar of management. Obesity—acknowledged as both a biomechanical and biochemical risk factor—is strongly associated with OA progression through mechanisms involving mechanical overload and adipose-derived inflammatory cytokines. Sustainable weight reduction, particularly when implemented within structured self-management and educational programs, remains a highly supported evidence-based recommendation (60, 65). Rehabilitation approaches are evolving as well. Network meta-analyses suggest modest additional benefits from adjunct therapies such as transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), acupuncture, and gait retraining. However, the prevailing consensus emphasizes that structured, adherence-driven exercise therapy—especially resistance and proprioceptive training—continues to yield the most consistent long-term outcomes when tailored and supervised by experienced clinicians (58, 60, 65). A major advancement since 2024 has been the growing evidence supporting psychological interventions as integral components of knee pain management. High-quality systematic reviews and meta-analyses demonstrate that cognitive-behavioral therapy, psychoeducation, and stress management substantially improve pain perception, physical function, and self-efficacy in individuals with knee OA (66, 67). These interventions most notably enhance self-management abilities and chronic pain coping skills, suggesting that they should be formally incorporated into multidisciplinary treatment frameworks. Despite rapid growth in this field, heterogeneity in intervention content, delivery methods, and follow-up duration continues to hinder standardization—highlighting the need for protocol refinement in future research (68).

Persistent limitations across the literature include variability in study populations, differences in intervention intensity and duration, and a general lack of long-term follow-up data. Moreover, the clinical and economic effectiveness of emerging modalities—such as 3D-printed orthoses and digital health

tools—remains to be confirmed through large, pragmatic, and cost-effectiveness trials (62, 69). Further investigation is also needed into the influence of modifiable risk factors (e.g., comorbidities, occupational load, physical activity type) and underrepresented populations such as younger adults and patients with multiple comorbidities (60).

## 5. Conclusion

Knee pain is a multifactorial condition influenced by foot biomechanics, obesity, muscle imbalance, and lower-limb alignment, with age acting as a risk factor due to its association with degenerative changes. It affects not only physical function but also overall well-being. Advances in 3D printing have shown promise in enabling more personalized orthotic solutions tailored to individual anatomy, which may enhance prevention and treatment strategies in select cases. Conservative strategies—such as physical therapy, orthotics, and lifestyle modification—offer effective, holistic management by addressing underlying causes. Emerging technologies like AI, wearables, and 4D printing signal a shift toward proactive, personalized interventions. Patellofemoral pain (PFP), however, remains a diagnostic challenge due to its complex etiology and lack of clear imaging markers. Nonetheless, interdisciplinary approaches integrating orthopedics, biomechanics, and technology promise improved care and outcomes.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

This article is a narrative review and does not include any studies involving human participants or animals conducted by the authors. All procedures adhered to the ethical standards for research integrity and reporting, as outlined by the Journal of Sports Biomechanics.

### Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Authors' contributions

Conceptualisation, supervision, and review: Dr. Nitin Sahai. Methodology and writing – original draft: J. P. Darjee. Resources: Dr. Monica Chhabra and Prabhat Kumar. Software and visualisation: Daffylabeth Mawlieh. Validation: Dr. Nabeel Ahmed. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

### Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest related to this work.

## Supplementary Material

## Appendix A

Table 3. Foot type and its Abnormalities-Classification

| Abnormal Pronation                                                                                                                                        |                                                                                                      | Abnormal Supination                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                           |                                                                                                      | Pes cavus (70)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Pes cavovarus (71)                                                                                                                                                                                                                                                                            | Pes equinovarus (72)                                                                                                                            |
| Congenital:<br>• Talipes calcaneovalgus<br>• Talipes calcaneovarus<br>• Forefoot varus/congenital metatarsus<br>• Convex pes valgus<br>• Tarsal coalition | Developmental<br>• Hip dysplasia<br>• Femoral antitortion<br>• Tibial torsion<br>• Genu valgus/varus | Neuromuscular                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Neurologic                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Congenital                                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                           |                                                                                                      | • Hereditary neuropathy<br>• Spinal cord defects<br>• Idiopathic<br>• Subtle cavus feet without neurological disorder<br>• Ankle Osteoarthritis<br>• Rheumatoid Arthritis<br>• Tarsal Coalition<br>• Acquired<br>• Neuropathy<br>• Cerebral Palsy<br>• Brain injury<br>• Traumatic<br>• Posterior compartment syndrome of leg<br>• Subtalar fracture or Malunion of calcaneal<br>• Lisfranc fractures<br>• Crush injuries<br>• Peroneal Nerve injury | • Unilateral - spinal cord diseases<br>• Bilateral Charcot-Marie-Tooth disease<br>• Muscle imbalances—tibialis anterior and peroneus brevis weakness<br>Idiopathic<br>• Usually bilateral and subtle<br>Traumatic<br>• Malunion of Talus fracture<br>• compartment syndrome<br>• crush injury | • Clubfoot<br>• Acquired<br>• Due to spasticity,<br>• Associated conditions<br>• Contractures of Joint<br>• Knee hyperextension in stance phase |

## Appendix B

## Knee Pain Influenced by Psychological Factors and Its Management.

The impact and prevalence of knee pain on individuals across the globe cannot be underestimated. This widespread and incapacitating condition significantly impacts millions of individuals' daily lives (73). The etiology of knee pain is commonly linked to physiological factors such as injury, arthritis, or mechanical issues. However, recent investigations have shed light on the substantial influence exerted by psychological factors in both the onset and management of knee pain (74). This section of the review articles explores the complex relationship of psychological factors that exert influence on the experience of knee pain. It aims to shed light on the multifaceted nature of this phenomenon and provide insights into potential strategies for effectively managing knee pain within a psychological framework. The subsequent information offers a concise overview of the diverse psychological factors shown (Fig. 4) below, which exert a significant influence on the occurrence and management of knee pain.

**The Mind-Body Connection:** The relationship between the mind and body is of paramount importance in the therapy of knee pain. Psychological variables, such as anxiety, stress, and depression, have the potential to intensify the perception of pain. Conversely, implementing mindfulness practices, relaxation techniques, and positive cognitive processes can mitigate pain. The integration of mental and physical therapies is crucial for achieving comprehensive relief from knee pain (75).

**Depression:** There is a strong relationship between knee pain and depression. The presence of chronic pain resulting from knee-related conditions has the potential to induce or exacerbate depressive symptoms, mostly attributable to the constrained physical mobility and diminished overall well-being experienced by affected individuals. On the contrary, depression has the potential to amplify the experience of pain and impede the process of healing. It is imperative to priorities individuals' holistic well-being and medical and psychological interventions to effectively address both problems concurrently (76).

**Fear Avoidance:** According to the fear-avoidance model, individuals experiencing knee pain may develop a fear response towards movement as a result of their anticipation of pain. The presence of this dread has the potential to result in the avoidance of engaging in physical activities, potentially contributing to a state of deconditioning. Ultimately, this deconditioning can worsen the experience of knee pain (77).

The experience of knee pain extends beyond its physical manifestation, encompassing a multifaceted interplay of biological, psychological, and social factors. A comprehensive comprehension of the psychological aspects associated with knee pain and their subsequent influence is essential to facilitate the implementation of effective pain management strategies. Through the examination of stress, anxiety, depression, fear avoidance, social support, pain beliefs, and attitudes, this study aims to explore the potential benefits of incorporating mind-body changes into the management of knee pain. By adopting a more comprehensive and holistic approach, healthcare professionals involved in knee pain management may be able to provide a more effective and well-rounded therapeutic experience for individuals suffering from knee pain.

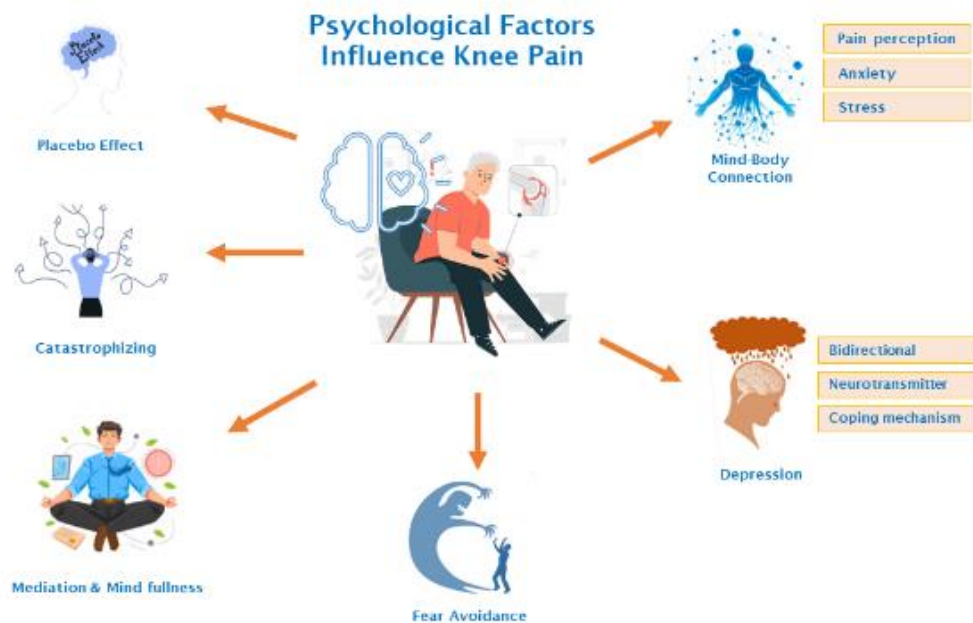


Fig. 4. Different psychological factors that influence knee pain and its management.

## مقاله مروری

## مرور روایتی درباره درد زانو در ارتباط با عوامل دیستال و امکان‌های مدیریت غیر دارویی شامل چاپ سه‌بعدی

جی پراشانت دارجی<sup>۱</sup>، مونیکا چابرا<sup>۲</sup>، پرابهات کومار<sup>۳</sup>، دافیلبت ماولیه<sup>۴</sup>، نبیل احمد<sup>۵</sup>، نیتین ساهی<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی زیست پزشکی، دانشگاه نورث ایسترن هیل، شیلونگ، هند.

۲. گروه فیزیوتراپی، مؤسسه تحصیلات تکمیلی آموزش و پژوهش پزشکی (PGIMER)، چندیگار، هند.

۳. مدرسه دکترای پزشکی پایه، دانشکده پزشکی، دانشگاه پیج، پیج، مجارستان.

۴. دانشگاه آسام داوون تاون، گواهاتی، آسام، هند.

۵. گروه زیست فناوری، دانشکده علوم وابسته، دانشگاه دوی بومی اوتاراخند، دهرادون، هند.



**Citation:** Darjee JP, Chhabra M, Kumar P, Mawlieh D, Ahmad N, Sahai N. A Narrative Review on Knee Pain in Relation to Distal Factors and Possibilities for Non-Pharmacological Management Including 3D Printing. Journal of Sport Biomechanics. 2026;12(1):108-134. <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.1.108>

## چکیده

**هدف** درد زانو یکی از شایع‌ترین مشکلات اسکلتی-عضلانی در تمام گروه‌های سنی است و حدود ۲۵٪ از بزرگسالان را درگیر می‌کند. بر اساس علت‌های مختلف، شیوع آن بین ۱۰ تا ۶۰ درصد گزارش شده است. طی دو دهه‌ی گذشته، بروز درد زانو حدود ۶۵ درصد افزایش یافته است که به عوامل مسبب گوناگون در سطوح پروگزیمال (بالادست)، موضعی و دیستال (پایین‌دست) نسبت داده می‌شود. اثربخشی درمان تا حد زیادی به شناسایی و اصلاح علت زمینه‌ای بستگی دارد.

**روش‌ها** جست‌وجوی جامعی در پایگاه‌های PubMed، Google Scholar، Scopus، Web of Science و ScienceDirect برای مقالات منتشرشده تا تاریخ ۲۱ اوت ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌های درد زانو، بیومکانیک پا، مدیریت غیر دارویی، فیزیوتراپی، درمان فیزیکی و چاپ سه‌بعدی به صورت مستقل و ترکیبی به کار رفتند.

**یافته‌ها** مدیریت غیر دارویی درد زانو بر اساس ماهیت چندعاملی آن صورت می‌گیرد و شامل عوامل بیومکانیکی، آناتومیک و عملکردی است. در میان این عوامل، درمان‌های مرتبط با بیومکانیک اندام تحتانی و شکل‌شناسی پا از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

**نتیجه‌گیری** درد زانو می‌تواند تحت تأثیر عوامل دیستال مانند بیومکانیک پا و هم‌ترازی اندام تحتانی باشد، و اصلاح این عوامل از طریق فیزیوتراپی، ارتوز و چاپ سه‌بعدی راهکاری مؤثر برای درمان فردمحور فراهم می‌کند.

## اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۹ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲۱ آبان ۱۴۰۴

## کلید واژه‌ها:

درد زانو، ناهنجاری‌های پا، چاپ سه‌بعدی

\*نویسنده مسئول:

نیتین ساهی

آدرس: گروه مهندسی زیست پزشکی، دانشگاه نورث ایسترن هیل، شیلونگ، هند.

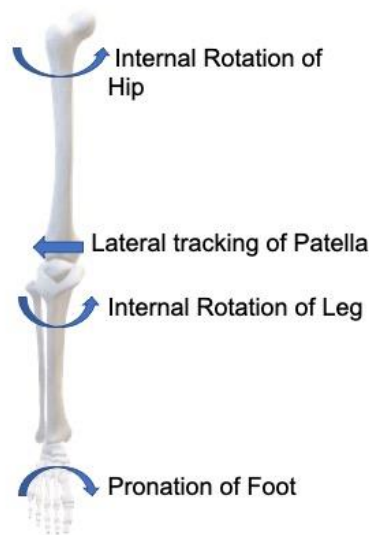
ایمیل: [nitinbiomedical@gmail.com](mailto:nitinbiomedical@gmail.com)

## مقدمه

درد زانو یکی از شایع‌ترین شکایات اسکلتی-عضلانی است که در تمام گروه‌های سنی مشاهده می‌شود و اغلب از تعاملات پیچیده میان عوامل بیومکانیکی پروگزیمال (بالادست)، موضعی و دیستال (پایین‌دست) ناشی می‌گردد (۱). درمان مؤثر آن تا حد زیادی به درک علت زمینه‌ای وابسته است (۲). پا و مچ پا، اگرچه معمولاً در مقایسه با مفاصل بزرگ‌تری مانند زانو و لگن کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند، نقش اساسی در بیومکانیک بدن انسان دارند. این بخش‌ها به عنوان نقطه‌ی اصلی تماس بدن با زمین، مسئول تحمل وزن بدن، جذب شوک و تسهیل حرکات مختلفی همچون دویدن، پریدن و راه رفتن هستند. رباط‌های اطراف مفصل مچ پا مانند دلتوئید و تالوفیولار قدامی موجب پایداری مفصل می‌شوند، در حالی که تاندون آشیل با اتصال عضلات ساق به استخوان پاشنه، نقش مهمی در پیش‌رانش و حرکت دارد (۳). از آنجا که پا نخستین بخش تماس بدن با زمین است، ساختار و عملکرد آن تأثیر چشمگیری بر بیومکانیک اندام تحتانی دارد. پرونیشن بیش از حد در حین راه رفتن باعث چرخش داخلی استخوان درشت‌نی و در نتیجه بدترازی و افزایش فشار بر مفصل زانو می‌شود (۴) (شکل ۱). کف پای صاف (پس پلانوس) که با کاهش یا فقدان قوس داخلی همراه است، سبب پرونیشن زیادتر و تغییر در تراز و نیروهای وارد بر زانو می‌گردد (۵). در مقابل، کف پای قوس‌دار (پس کاووس) به دلیل کاهش جذب ضربه، نیروی بیشتری را به زانو منتقل می‌کند و می‌تواند در ایجاد سندرم درد کشکی-رانی نقش داشته باشد (۶).

نوع و اندازه کفش نیز در بیومکانیک پا و مچ پا اثرگذار است. کفش‌های نامناسب یا فاقد حمایت کافی می‌توانند ناهنجاری‌های حرکتی را تشدید کنند، در حالی که پاشنه بلند موجب افزایش خم‌شدگی زانو و چرخش قدامی لگن می‌شود (۷). بنابراین، درک نقش بیومکانیکی پا برای طراحی مداخلات درمانی و پیشگیرانه در مدیریت درد زانو ضروری است. پاهای انسان اگرچه در ظاهر مشابه‌اند، اما تنوع زیادی در ساختار دارند که می‌تواند ناشی از عوامل ژنتیکی، سایش، آسیب یا نوع کفش باشد. این تفاوت‌ها بر الگوی راه رفتن، ثبات قامت و استعداد ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی تأثیرگذارند. در افراد دارای پای طبیعی، پرونیشن به‌طور طبیعی موجب جذب شوک و توزیع یکنواخت فشار می‌شود (۸)، اما اختلالات در بیومکانیک پا می‌تواند باعث تغییر در الگوی گام‌برداری و نیروهای مفصل زانو گردد (جدول ۱). طبقه‌بندی ناهنجاری‌های مادرزادی و تکاملی پا در پیوست A آمده است.

با وجود حجم زیاد مطالعات در زمینه درد زانو، پژوهش‌های اندکی به اپیدمیولوژی آن از منظر بیومکانیکی پرداخته‌اند. بیشتر تحقیقات پیشین بر استئوآرتریت (OA) زانو به‌عنوان شاخصی رادیوگرافیک تمرکز داشته‌اند. مطالعات آینده‌نگر به‌ویژه درباره بار کاری و فعالیت بدنی هنوز محدودند. شواهد نشان می‌دهد که زنان، افراد با تحصیلات پایین‌تر، شاخص توده بدنی بالاتر از ۲۶، سابقه سیگار کشیدن و یا آسیب قبلی زانو بیشتر در معرض درد زانو هستند (۱۸-۱۴). در تحلیل گام‌برداری، مفصل مچ پا اغلب به عنوان قطعه‌ای صلب مدل‌سازی می‌شود، در حالی که در واقع اجازه‌ی خم و باز شدن را می‌دهد. هماهنگی حرکات مچ، زیرمچ، متاتارس و فالانژها موجب حرکت یکنواخت مرکز جرم بدن می‌شود. کاهش دامنه حرکتی هر یک از این مفاصل می‌تواند کل الگوی گام‌برداری و عملکرد مفاصل بالاتر را مختل کند (۱۹). افزون بر آن، بازتاب‌های پاسچرال عضلات پا بسته به فشار کف‌پایی روی سطوح مختلف تغییر می‌کنند (۲۰). از این رو، از ارتوزهای پا برای اصلاح محور مفصل زیرمچ و حفظ تعادل چرخشی استفاده می‌شود (۲۲، ۲۱). بدترازی و تغییر در توزیع وزن ناشی از ناهنجاری‌های پا و مچ پا می‌تواند باعث عدم تعادل عضلانی و درد عملکردی در مفاصل بالاتر مانند زانو، لگن و ستون فقرات شود. به عنوان نمونه، فروریزش قوس طولی داخلی موجب افزایش بار داخلی زانو و تشدید درد می‌گردد (۲۳).



شکل ۱. پای پرونیته (چرخیده به داخل) و تأثیر بیومکانیکی آن بر مفصل پاتلوفمورال.

جدول ۱. وضعیت‌های مختلف پا و تأثیر آن‌ها بر الگوی راه رفتن و مکانیک مفصل زانو

| وضعیت پا               | اثر بیومکانیکی                                                                                                       | ارتباط با درد زانو                                                                                             |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| صافی کف پا (پس پلانوس) | فروریزش قوس داخلی می‌تواند منجر به پرونیشن بیش‌ازحد، چرخش داخلی استخوان درشت‌نی و تغییر در الگوی حرکتی راه رفتن شود. | پرونیشن زیاد پا ممکن است موجب افزایش فشار بر مفصل پاتلوفمورال گردد.                                            |
| قوس بلند پا (پس کاووس) | بارگذاری جانبی ناشی از قوس سخت و پرونیشن ناکافی است که جذب ضربه را کاهش می‌دهد.                                      | افزایش فشار و نیروی عکس‌العمل زمین بر زانو، به‌ویژه هنگام دویدن یا پریدن.                                      |
| پرونیشن بیش‌ازحد (۱۱)  | چرخش داخلی درشت‌نی و ناهماهنگی در محور زانو در اثر چرخش بیش‌ازحد پا به داخل ایجاد می‌شود.                            | بروز آرتروز زانوی داخلی و سندرم درد پاتلوفمورال (PFPS)                                                         |
| اورژن پاشنه (۱۲)       | بارگذاری داخلی زانو را افزایش داده و محور مفصل ساب‌تالار را تغییر می‌دهد.                                            | در افراد مبتلا به درد مزمن پاتلوفمورال یا در تغییر الگوی حرکتی هنگام بالا رفتن از پله یا اسکوات مشاهده می‌شود. |
| تحرك زیاد بخش میانی پا | تحرك بیش‌ازحد باعث تغییر در کینماتیک مفاصل بالادست و توزیع نیرو می‌شود.                                              | ارتباط قوی با بروز زود هنگام درد پاتلوفمورال، به‌ویژه در دوندگان و نوجوانان.                                   |

درد زانو معمولاً بیشتر با مفصل کشکی-رانی مرتبط است تا مفصل تیبیوفمورال، به‌ویژه در فعالیت‌هایی مانند چمباتمه، بالا یا پایین رفتن از پله‌ها و نشستن طولانی (۲۴، ۲۵). عوامل بیومکانیکی کلیدی در این درد شامل افزایش دامنه حرکتی پاشنه، زاویه خم‌شدگی زانو، بار خارجی زیاد در حرکات دینامیک و چرخش غیرطبیعی پا هستند (۲۶-۳۰). همچنین بارگذاری بیش از حد سمت جانبی پا می‌تواند فشار داخلی زانو را افزایش دهد که در استئوآرتریت زانو مضر است (۳۱). مطالعات تصویربرداری گسترده نشان داده‌اند که مفصل کشکی-رانی بیشتر از بخش تیبیوفمورال درگیر آرتروز می‌شود (۳۲). فشار تکرارشونده و تحلیل غضروف از علل اصلی این فرایند است (۳۳). اصلاح بیومکانیک دیستال، به‌ویژه از طریق مداخلات هدفمند در پا، در پیشگیری و درمان درد زانو نقش مهمی دارد.

در سال‌های اخیر، چاپ سه‌بعدی به‌عنوان فناوری نویدبخش در ارتوپدی و توان‌بخشی مطرح شده است. این فناوری از ساخت مدل‌های آناتومیکی شخصی‌سازی شده برای برنامه‌ریزی جراحی تا تولید ارتوزها و پروتزهای اختصاصی که به بهبود تراز مفصل و

کاهش بار زانو کمک می‌کنند، کاربرد دارد (۳۴). استفاده از بریس‌ها و کفی‌های چاپ سه‌بعدی سبب بهبود بیومکانیک گام برداری، افزایش راحتی و ارائه حمایت مکانیکی متناسب با هر فرد می‌شود. علاوه بر این، چاپ سه‌بعدی امکان نمونه‌سازی سریع و طراحی مقرون‌به‌صرفه را فراهم می‌کند و می‌تواند گزینه‌ای مؤثر و غیر دارویی در کنار روش‌های سنتی درمان اختلالات اسکلتی-عضلانی باشد (۳۵). این مرور با هدف ارزیابی علمی کارایی روش‌های غیر دارویی و تلفیق دانش موجود درباره نقش بیومکانیکی عوامل دیستال در درد زانو، همراه با بررسی نقش فزاینده‌ی فناوری چاپ سه‌بعدی در طراحی راهکارهای توان‌بخشی شخصی‌سازی شده انجام شده است.

## روش شناسی

درد زانو یک پدیده پیچیده است که غالباً تحت تأثیر عوامل دیستال مانند وضعیت اندام تحتانی، شکل پا و بیومکانیک کلی بدن قرار می‌گیرد. این عوامل در تعامل با یکدیگر، توزیع نیرو بر مفصل زانو را تغییر داده و می‌توانند در بروز یا تداوم درد نقش داشته باشند. با توجه به رشد روزافزون رویکردهای غیر دارویی — به‌ویژه درمان‌های ارتوزی مبتنی بر فناوری‌های نوین مانند چاپ سه‌بعدی — گردآوری و مرور نظام‌مند مطالعات اخیر در این زمینه ضروری است. از این‌رو، هدف این مرور روایتی، ارائه‌ی چشم‌اندازی جامع از رویکردهای نوین مدیریت درد زانو با تمرکز ویژه بر کاربرد چاپ سه‌بعدی و تحلیل نقش بیومکانیکی عوامل دیستال در ایجاد و درمان درد زانو بود.

## راهبرد جست‌وجوی مقالات

جست‌وجوی جامعی در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of Science، ScienceDirect و Google Scholar برای مقالات منتشرشده تا تاریخ ۲۱ اوت ۲۰۲۵ انجام شد. در این جست‌وجو از کلیدواژه‌های استاندارد MeSH و واژگان آزاد شامل «بیومکانیک پا»، «ساختارهای دیستال»، «ارتوزها»، «چاپ سه‌بعدی»، «درد زانو»، «درد کشککی-رانی»، «استئوآرتروز زانو» و «درمان غیر دارویی» به‌صورت ترکیبی با عملگرهای بولی AND و OR استفاده شد. در مجموع حدود ۱۲۴۰ رکورد اولیه به‌دست آمد. پس از حذف موارد تکراری و نامرتبط، ۹۸۰ مقاله باقی ماند. از میان آن‌ها، با بررسی عنوان و چکیده، ۲۶۰ مقاله به‌عنوان مرتبط شناسایی شد. در نهایت پس از مطالعه‌ی کامل مقالات واجد شرایط، ۸۶ مقاله برای ترکیب روایتی انتخاب گردیدند.

## معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود شامل ۱. مطالعاتی که بررسی کرده‌اند چگونه عوامل دیستال — مانند هم‌ترازی اندام تحتانی، مکانیک گام‌برداری، یا مورفولوژی پا و مچ — در ایجاد یا تداوم درد زانو نقش دارند، ۲. مطالعاتی که داده‌هایی درباره‌ی درمان‌های غیر دارویی از جمله ارتوزهای چاپ سه‌بعدی، فیزیوتراپی، اصلاح کفش یا سایر وسایل کمکی ارائه کرده‌اند و ۳. پژوهش‌های اصیل (آزمایش‌های تصادفی کنترل‌شده، مطالعات کوهورت یا مورد-شاهدی) یا مرورهای نظام‌مند و روایتی با کیفیت بالا بودند. معیارهای خروج شامل ۱. مطالعاتی که صرفاً به درمان‌های دارویی یا جراحی پرداخته‌اند، ۲. مقالات غیر انگلیسی‌زبان و ۳. گزارش‌های موردی فاقد داده‌های بیومکانیکی یا مداخله‌ای کافی بودند.

## انتخاب مطالعات و استخراج داده‌ها

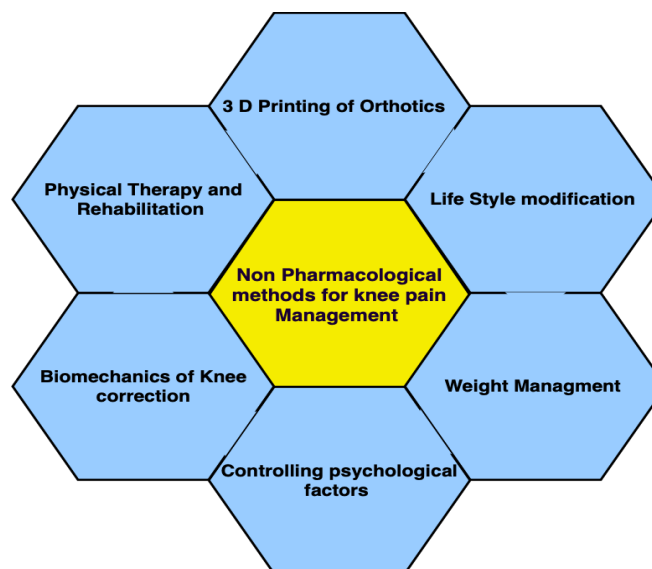
دو پژوهشگر به صورت مستقل عناوین و چکیده‌ها را بررسی کردند تا مطالعات واجد شرایط شناسایی شوند. متون کامل مقالات انتخاب شده به طور دقیق مطالعه گردید و هرگونه اختلاف نظر از طریق اجماع رفع شد. داده‌های استخراج شده شامل طراحی مطالعه، ویژگی‌های نمونه، پارامترهای بیومکانیکی دیستال ارزیابی شده، نوع مداخله، شاخص‌های پیامد و نتایج اصلی بودند.

## سنتز داده‌ها

به دلیل ماهیت کیفی بیشتر مطالعات، از رویکرد ترکیب روایتی استفاده شد. مقالات در سه محور اصلی طبقه‌بندی شدند: ۱. ارتباط بیومکانیکی و آناتومیکی میان درد زانو و عوامل دیستال، ۲. اثربخشی درمان‌های غیر دارویی مانند تمرین درمانی، ارتوزها و بازآموزی الگوی گام برداری و ۳. فناوری‌های نوین در طراحی ارتوزها، از جمله ساخت افزودنی و چاپ سه بعدی. هدف از این تحلیل، شناسایی الگوهای مشترک، خلأهای پژوهشی و فرصت‌های مطالعاتی آینده بود. نتایج نشان داد که هیچ روش غیر دارویی به تنهایی مؤثر نیست و برنامه‌های چندوجهی — شامل تمرین درمانی، کنترل وزن و اصلاح بیومکانیکی — نسبت به رویکردهای منفرد اثربخشی بیشتری دارند. با این حال، کمبود مطالعات مقایسه‌ای بلندمدت و با کیفیت بالا به ویژه در زمینه ادغام ارتوزهای چاپ سه بعدی و مداخلات رفتاری در مراقبت‌های بالینی وجود دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر استانداردسازی پروتکل‌ها، مقایسه‌ی ترکیب‌های درمانی و ارزیابی هزینه-اثربخشی تمرکز کنند تا کاربرد بالینی این روش‌ها تقویت شود.

## نتایج

ماهیت چندعاملی درد زانو ضرورت استفاده از رویکردی جامع و غیر دارویی را برجسته می‌کند (شکل ۲). عوامل بیومکانیکی، آناتومیکی و عملکردی نقش‌های اساسی در بروز و تداوم این عارضه دارند. در میان آن‌ها، مداخلاتی که بر اصلاح بیومکانیک اندام تحتانی و شکل پا تمرکز دارند، پتانسیل قابل توجهی در کاهش علائم و بهبود عملکرد نشان داده‌اند.



شکل ۲. نمای شماتیک از مدیریت غیر دارویی درد زانو.

با این حال، شواهد موجود درباره میزان اثربخشی این مداخلات متفاوت است و نتایج معمولاً تحت تأثیر ویژگی‌های فردی بیماران، میزان پایبندی به درمان و وجود بیماری‌های همراه قرار می‌گیرد.

### الف. فیزیوتراپی و توان‌بخشی

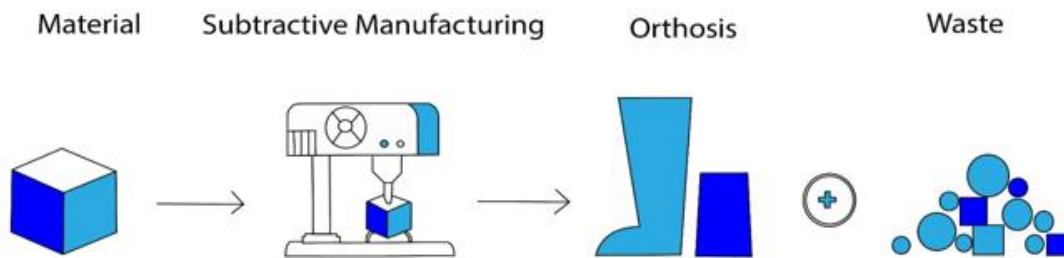
بیشتر مطالعات به طور مداوم بر توان‌بخشی مبتنی بر تمرین به عنوان پایه اصلی درمان غیرجراحی درد زانو تأکید دارند (۳۶). تقویت عضلات اطراف مفصل، به ویژه عضلات چهارسر ران، همسترینگ و عضلات ساق پا، موجب افزایش پایداری مفصل و کاهش درد می‌شود (۳۷). کارآزمایی‌های تصادفی کنترل‌شده نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی نسبت به روش‌های غیرفعال نتایج بهتری دارند و تأکید می‌کنند که توان‌بخشی فعال در مقایسه با درمان‌های منفعل اثرات پایدارتر و بلندمدت‌تری ایجاد می‌کند (۳۸). با این حال، میزان بهبود در مطالعات مختلف متفاوت است و معمولاً به عواملی مانند پایبندی بیمار، شدت تمرین و مدت برنامه بستگی دارد (۳۹). همچنین، بازآموزی الگوی گام برداری و تمرینات حس عمقی اثربخشی چشمگیری نشان داده‌اند، اما نیاز به تنظیم اختصاصی برای هر بیمار دارند (۴۰-۴۲).

### ب. اصلاح سبک زندگی

چاقی و اضافه وزن از عوامل خطر مهم و قابل اصلاح در بروز و پیشرفت استئوآرتریت زانو و درد زانو هستند (۴۳). این ارتباط از دو مسیر ایجاد می‌شود: از یک سو مکانیکی، به دلیل افزایش بار مفصلی (۴۴)، و از سوی دیگر بیوشیمیایی، از طریق ترشح سیتوکین‌های التهابی ناشی از بافت چربی (۴۵). شواهد متعدد نشان می‌دهند که کاهش وزن به طور مداوم موجب کاهش درد، بهبود تحرک و کند شدن روند پیشرفت بیماری می‌شود، هرچند میزان این اثرات به وزن اولیه و پایبندی فرد به برنامه بستگی دارد (۴۶-۵۰).

### ج. مداخله ارتوزی: سنتی در برابر دستگاه‌های چاپ سه‌بعدی

شواهد موجود درباره اثربخشی ارتوزها متناقض است. ارتوزهای پیش‌ساخته در کوتاه‌مدت موجب تسکین درد می‌شوند، اما در اصلاح بلندمدت بیومکانیک تأثیر محدودی دارند (۵۱). در مقابل، ارتوزهای سفارشی‌سازی شده با چاپ سه‌بعدی نتایج بهتری در توزیع فشار کف‌پایی، بهبود الگوی گام‌برداری و کاهش درد نشان داده‌اند (۵۲، ۵۳، ۳۴). فناوری چاپ سه‌بعدی مزایایی از جمله شخصی‌سازی دقیق، نمونه‌سازی سریع و دقت آناتومیکی بالا دارد که آن را به ابزاری تحول‌آفرین در طراحی ارتوز تبدیل کرده است (۵۴-۵۵). با این وجود، این فناوری همچنان هزینه‌بر است و شواهد کافی از کارآزمایی‌های تصادفی بزرگ برای تأیید اثربخشی آن در دسترس نیست (۵۶). علاوه بر این، قابلیت‌های چاپ سه‌بعدی مانند سرعت بالای تولید، تکرارپذیری، استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر سازگار و کاهش هدررفت مواد (شکل ۳)، دامنه کاربرد آن را به حوزه‌های گسترده‌تر ارتوپدی از جمله قالب‌های جراحی، ایمپلنت‌ها و مدل‌های آناتومیکی گسترش داده است. استفاده از مواد مرکب حاوی الیاف کربن یا شیشه نیز استحکام و انعطاف‌پذیری ارتوزها را افزایش می‌دهد و امکان تطبیق با نیازهای تخصصی ارتوپدی را فراهم می‌سازد (۵۷). جزئیات در جدول ۲ ارائه شده‌اند. مطالعات نشان داده‌اند که کفی‌های سفارشی‌سازی شده با چاپ سه‌بعدی نسبت به نمونه‌های پیش‌ساخته، از نظر راحتی و اصلاح بیومکانیکی عملکرد بهتری دارند، به‌ویژه در توزیع یکنواخت فشار کف‌پایی. عوارض جانبی گزارش شده بسیار اندک بوده است، بنابراین این نوع کفی‌ها می‌توانند به عنوان یک مکمل مؤثر و ایمن در کنار فیزیوتراپی مورد استفاده قرار گیرند (۵۸).



شکل ۳. روش چاپ سه بعدی.

جدول ۲. کاربرد چاپ سه بعدی در طراحی و تولید انواع وسایل ارتوتیکی

| نوع ارتوز                   | نوع ماده مورد استفاده                                                                                                                              | نوع چاپ سه بعدی                                          |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ارتوز مچ و کف پا (AFO) (۳۴) | پلی لاکتیک اسید (PLA)، آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)، پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا تقویت شده با الیاف کولار (Kevlar-reinforced UHMWPE) | مدل سازی رسوب ذوب شونده (FDM)                            |
| ارتوز زانو (۳۵)             | FLX930™, FLX950, Agilus30™, ABS                                                                                                                    | چاپ چندجیتی (MultiJet Printing – MJP)                    |
| ارتوز کف پا (۵۹)            | پلی آمید PA12                                                                                                                                      | چاپگر فیوژن چندجیتی (MultiJet Fusion Printer)            |
| —                           | ترموپلاستیک پلی یورتان (TPU)                                                                                                                       | سینترینگ لیزری انتخابی (Selective Laser Sintering – SLS) |

## د. عوامل روان شناختی مؤثر بر درد زانو و مدیریت آن

با پرداختن به موانع روان شناختی از طریق رویکردهای شناختی-رفتاری، می توان پایبندی بیماران به برنامه های توان بخشی را به طور قابل توجهی افزایش داد. این مداخلات به اصلاح افکار و رفتارهای ناسازگار مرتبط با درد کمک کرده، الگوهای اجتناب از حرکت را کاهش داده و انگیزه بیمار برای مشارکت فعال را تقویت می کنند. نتایج بلندمدت این رویکردها، از جمله بهبود راهبردهای مقابله با درد و بهبودی عملکردی، در پیوست B خلاصه شده است.

## بحث

این مرور نشان می دهد که درد زانو حاصل تعامل پیچیده ای میان عوامل بیومکانیکی، عملکردی و روانی-اجتماعی است و اهمیت رویکردی جامع، چندبعدی و فردمحور را در مدیریت غیر دارویی این عارضه برجسته می کند. شواهد موجود به طور مداوم تأکید دارند که عوامل مکانیکی، به ویژه هم ترازی اندام تحتانی و ویژگی های بیومکانیکی دیستال مانند ساختار پا، نقش تعیین کننده ای در بروز و تداوم درد زانو دارند. مرورهای چتری اخیر و به روزرسانی های دستورالعمل های EULAR بر اهمیت مدیریت چندمؤلفه ای و شخصی سازی شده به عنوان پایه توصیه های مبتنی بر شواهد برای استئوآرتریت زانو و سندرم های درد مرتبط تأکید دارند (۵۸، ۶۰). این رویکردها معمولاً شامل برنامه های تمرینی فردمحور، کنترل وزن و آموزش بیماران هستند که اثربخشی آنها در کاهش علائم و بهبود عملکرد حرکتی به طور مستمر گزارش شده است (۶۱).

در حوزه ارتوزها، پیشرفت فناوری نقش چشمگیری داشته است. به کارگیری چاپ سه بعدی در ساخت وسایل ارتوزی به سرعت در حال گسترش است. مرورهای نظام مند و کارآزمایی های بالینی اخیر نشان می دهند که کفی ها و بریس های چاپ سه بعدی نسبت به مدل های پیش ساخته، اصلاح بیومکانیکی بهتر، توزیع یکنواخت تر فشار کف پای و راحتی بیشتر برای بیمار فراهم می کنند (۶۲). افزوده شدن طراحی مبتنی بر هوش مصنوعی و نوآوری در مواد به توسعه ارتوزهای شخصی سازی شده منجر شده و مسیر را به سوی توان بخشی دقیق هموار کرده است (۶۳). با این حال، هزینه بالا، دشواری گسترش تولید و کمبود مطالعات بالینی مقایسه ای در مقیاس بزرگ از جمله چالش های باقی مانده هستند (۶۴). اصلاح سبک زندگی همچنان بخش بنیادی درمان محسوب می شود. چاقی به عنوان یک عامل خطر دوگانه، مکانیکی و بیوشیمیایی، با پیشرفت استوآرتریت ارتباط قوی دارد، زیرا هم موجب افزایش بار مفصلی و هم افزایش سیتوکین های التهابی مشتق از بافت چربی می شود. کاهش پایدار وزن، به ویژه در قالب برنامه های آموزشی و خود مدیریتی ساختاریافته، توسط شواهد سطح بالا پشتیبانی می شود و جایگاه مرکزی خود را در تمامی دستورالعمل ها حفظ کرده است (۶۵، ۶۰).

راهنمادهای توان بخشی نیز در حال تکامل اند. فراتحلیل های شبکه ای اخیر نشان می دهند که درمان های کمکی مانند تحریک الکتریکی پوستی، طب سوزنی و بازآموزی گام برداری اثرات افزوده محدودی دارند؛ با این حال، اجماع علمی همچنان بر این است که تمرین درمانی ساختاریافته و مبتنی بر پایبندی بیمار، به ویژه تمرینات مقاومتی و حس عمقی، بیشترین اثربخشی بلندمدت را دارد، مشروط بر اینکه توسط درمانگران مجرب طراحی و هدایت شود (۶۵، ۶۰، ۵۸). از سال ۲۰۲۴ به بعد، شواهد فزاینده ای از نقش مداخلات روان شناختی در کنار درمان های استاندارد به دست آمده است. مرورها و فراتحلیل های باکیفیت بالا نشان داده اند که درمان شناختی-رفتاری، آموزش روانی و مدیریت استرس می توانند در بهبود درک درد، عملکرد فیزیکی و خودکارآمدی بیماران مبتلا به استوآرتریت زانو نقش مؤثری داشته باشند (۶۶، ۶۷). بیشترین بهبودها در توانایی های خودمدیریتی و مقابله با درد مزمن مشاهده شده است که نشان می دهد این مداخلات باید به طور نظام مند در مسیرهای درمان چندرشته ای گنجانده شوند. با این وجود، ناهمگونی در محتوای مداخله، شیوه اجرا و مدت پیگیری، نیاز به استانداردسازی پروتکل ها در پژوهش های آینده را برجسته می کند (۶۸).

با وجود این پیشرفت ها، محدودیت های مهمی همچنان باقی است. بسیاری از مطالعات از نظر ویژگی های بیماران، شدت و مدت برنامه ها و پیگیری های طولانی مدت تفاوت دارند. اثربخشی و هزینه-فایده روش های نوین مانند ارتوزهای چاپ سه بعدی و ابزارهای سلامت دیجیتال هنوز در کارآزمایی های بزرگ و کاربردی به طور قطعی تأیید نشده است (۶۲، ۶۹). علاوه بر این، نیاز به بررسی بیشتر عوامل خطر قابل اصلاح مانند نوع فعالیت یا بیماری های همراه و همچنین مطالعه زیرگروه های کمتر بررسی شده مانند جوانان و بیماران دارای چند بیماری همزمان احساس می شود (۶۰). در مجموع، شواهد اخیر تأیید می کنند که ترکیب رویکردهای مکانیکی، فناوریانه و روانی-اجتماعی مسیر بهینه ای برای مدیریت فردمحور درد زانو فراهم می کند. پژوهش های آینده باید بر طراحی های طولی، دقیق و استاندارد شده تمرکز کنند تا اثرات ماندگار درمان ها، به ویژه در حوزه های درمان دیجیتال و روان شناختی، ارزیابی شود و ارزش افزوده فناوری های نوین در مراقبت های بالینی روزمره به صورت کمی و کیفی مشخص گردد.

## نتیجه گیری نهایی

درد زانو یک اختلال چندعاملی است که تحت تأثیر بیومکانیک پا، چاقی، عدم تعادل عضلانی و هم ترازای اندام تحتانی قرار دارد و افزایش سن نیز به دلیل ارتباط با تغییرات دژنراتیو، به عنوان عامل خطر اضافی شناخته می شود. این عارضه نه تنها عملکرد جسمانی،

بلکه کیفیت کلی زندگی و سلامت روان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه چاپ سه‌بعدی، امکان طراحی ارتوزهای کاملاً شخصی‌سازی شده را فراهم کرده است که با ساختار آناتومیکی و نیازهای بیومکانیکی هر فرد تطابق دارند. این فناوری‌ها می‌توانند در پیشگیری و درمان درد زانو در موارد منتخب نقش مؤثری ایفا کنند. روش‌های محافظه‌کارانه مانند فیزیوتراپی، استفاده از ارتوزها و اصلاح سبک زندگی همچنان اساس مدیریت جامع و مؤثر درد زانو محسوب می‌شوند، زیرا به ریشه‌های بیومکانیکی و سیستمیک مشکل می‌پردازند. فناوری‌های نوظهور از جمله هوش مصنوعی، حسگرهای پوشیدنی و چاپ چهاربعدی، رویکرد درمانی را به سمت مداخلات پیش‌گیرانه و شخصی‌سازی شده سوق داده‌اند. با این حال، درد کشکی-رانی همچنان به دلیل ماهیت چندعاملی و نبود نشانگرهای تصویربرداری اختصاصی، چالشی در تشخیص و درمان باقی مانده است. در نهایت، همکاری میان‌رشته‌ای میان حوزه‌های ارتوپدی، بیومکانیک، توان‌بخشی و مهندسی می‌تواند به توسعه راهبردهای مؤثرتر و فردمحور منجر شود که عملکرد بیماران را بهبود بخشد، درد را کاهش دهد و پیامدهای بلندمدت را ارتقا بخشد.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله یک مرور روایتی است و هیچ‌گونه پژوهشی بر روی انسان یا حیوان توسط نویسندگان انجام نشده است. تمامی مراحل نگارش و گزارش‌نویسی مطابق با اصول اخلاقی و استانداردهای صداقت پژوهشی مندرج در «نشریه بیومکانیک ورزشی» رعایت شده است.

### حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی مفهومی، نظارت و بازبینی: دکتر نیتین ساهی؛ روش‌شناسی و نگارش نسخه اولیه: جی. پی. دارجی؛ منابع: دکتر مونیکا چابرا و پرابهات کومار؛ نرم‌افزار و تحلیل داده‌ها: دافیلبت مولیه و اعتباریابی: دکتر نبیل احمد. تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند.

### تعارض

بنا بر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## Reference

1. Dixit S, Difiori JP, Burton M, Mines B. Management of patellofemoral pain syndrome. American Family Physician. 2007;75(2):194-202.

2. Sanchis-Alfonso V. How to deal with chronic patellar instability: what does the literature tell us? Sports Health: A Multidisciplinary Approach. 2016;8(1):86-90. [DOI:10.1177/1941738115604156] [PMID]
3. Leveau B. Normal and abnormal function of the foot: clinical biomechanics, vol 2. Physical Therapy. 1979;59(3):352. [DOI:10.1093/ptj/59.3.352a]
4. Tiberio D. The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: a theoretical model. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 1987;9(4):160-5. [DOI:10.2519/jospt.1987.9.4.160] [PMID]
5. Bolívar YA, Munuera PV, Padillo JP. Relationship between tightness of the posterior muscles of the lower limb and plantar fasciitis. Foot & Ankle International. 2013;34(1):42-8. [DOI:10.1177/1071100712459173] [PMID]
6. Simkin A, Leichter I, Giladi M, Stein M, Milgrom C. Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures. Foot & Ankle. 1989;10(1):25-9. [DOI:10.1177/107110078901000105] [PMID]
7. Kerrigan DC, Johansson JL, Bryant MG, Boxer JA, Della Croce U, Riley PO. Moderate-heeled shoes and knee joint torques relevant to the development and progression of knee osteoarthritis. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2005;86(5):871-5. [DOI:10.1016/j.apmr.2004.09.018] [PMID]
8. Valmassy RL. Clinical Biomechanics of the Lower Extremities. St. Louis: Mosby; 1996.
9. Neal BS, Griffiths IB, Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Franettovich Smith MM, et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. Journal of Foot and Ankle Research. 2014;7(1):55. [DOI:10.1186/s13047-014-0055-4] [PMID]
10. Burns J, Crosbie J, Hunt A, Ouvrier R. The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. Clinical Biomechanics. 2005;20(9):877-82. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2005.03.006] [PMID]
11. Noehren B, Davis I, Hamill J. ASB clinical biomechanics award winner 2006. Clinical Biomechanics. 2007;22(9):951-6. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2007.07.001] [PMID]
12. Esser P, Dawes H, Collett J, Howells K. Insights into gait disorders: walking variability using phase plot analysis, Parkinson's disease. Gait & Posture. 2013;38(4):648-52. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2013.02.016] [PMID]
13. Kısacık P, Tunay VB, Bek N, Atay ÖA, Selfe J, Karaduman AA. Short foot exercises have additional effects on knee pain, foot biomechanics, and lower extremity muscle strength in patients with patellofemoral pain. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation. 2021;34(6):1093-104. [DOI:10.3233/BMR-200255] [PMID]
14. Andersen RE, Crespo CJ, Ling SM, Bathon JM, Bartlett SJ. Prevalence of significant knee pain among older Americans: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. Journal of the American Geriatrics Society. 1999;47(12):1435-8. [DOI:10.1111/j.1532-5415.1999.tb01563.x] [PMID]
15. Hannan MT, Anderson JJ, Pincus T, Felson DT. Educational attainment and osteoarthritis: differential associations with radiographic changes and symptom reporting. Journal of Clinical Epidemiology. 1992;45(2):139-47. [DOI:10.1016/0895-4356(92)90006-9] [PMID]
16. Bedson J, Croft PR. The discordance between clinical and radiographic knee osteoarthritis: a systematic search and summary of the literature. BMC Musculoskeletal Disorders. 2008;9(1):116. [DOI:10.1186/1471-2474-9-116] [PMID]
17. O'Reilly SC, Muir KR, Doherty M. Occupation and knee pain: a community study. Osteoarthritis and Cartilage. 2000;8(2):78-81. [DOI:10.1053/joca.1999.0274] [PMID]

18. Miranda H, Viikari-Juntura E, Martikainen R, Riihimäki H. A prospective study on knee pain and its risk factors. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2002;10(8):623-30. [DOI:10.1053/joca.2002.0796] [PMID]
19. Nordin M, Frankel VH. *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
20. Wu G, Chiang JH. The significance of somatosensory stimulations to the human foot in the control of postural reflexes. *Experimental Brain Research*. 1997;114(1):163-9. [DOI:10.1007/PL00005616] [PMID]
21. Kirby KA. Subtalar joint axis location and rotational equilibrium theory of foot function. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2001;91(9):465-87. [DOI:10.7547/87507315-91-9-465] [PMID]
22. Dananberg HJ. Sagittal plane biomechanics. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2000;90(1):47-50. [DOI:10.7547/87507315-90-1-47] [PMID]
23. Patel M, Shah P, Ravaliya S, Patel M. Relationship of anterior knee pain and flat foot: a cross-sectional study. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2021;11(3):86-92.
24. Sabouri L, Piri E, Jafarnejadgero A. Biomechanics of transitional movements in individuals with pronated feet: a review study. *Journal of Sports Biomechanics*. 2025;11(3):270-87. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.3.270]
25. De Oliveira Silva D, Briani RV, Pazzinatto MF, Ferrari D, Aragão FA, De Albuquerque CE, et al. Reliability and differentiation capability of dynamic and static kinematic measurements of rearfoot eversion in patellofemoral pain. *Clinical Biomechanics*. 2015;30(2):144-8. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2014.12.009] [PMID]
26. Wallace DA, Salem GJ, Salinas R, Powers CM. Patellofemoral joint kinetics while squatting with and without an external load. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2002;32(4):141-8. [DOI:10.2519/jospt.2002.32.4.141] [PMID]
27. Dahle LK, Mueller M, Delitto A, Diamond JE. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1991;14(2):70-4. [DOI:10.2519/jospt.1991.14.2.70] [PMID]
28. Barton CJ, Levinger P, Crossley KM, Webster KE, Menz HB. Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2011;4(1):10. [DOI:10.1186/1757-1146-4-10]
29. Tan JM, Crossley KM, Munteanu SE, Collins NJ, Hart HF, Donnar JW, et al. Associations of foot and ankle characteristics with knee symptoms and function in individuals with patellofemoral osteoarthritis. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2020;13(1):57. [DOI:10.1186/s13047-020-00426-8] [PMID]
30. Aliberti S, Costa MSX, Passaro AC, Arnone AC, Sacco ICN. Medial contact and smaller plantar loads characterize individuals with patellofemoral pain syndrome during stair descent. *Physical Therapy in Sport*. 2010;11(1):30-4. [DOI:10.1016/j.ptsp.2009.11.001] [PMID]
31. Collins NJ, Crossley KM, Darnell R, Vicenzino B. Predictors of short and long-term outcome in patellofemoral pain syndrome: a prospective longitudinal study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2010;11(1):11. [DOI:10.1186/1471-2474-11-11] [PMID]
32. Chen Z, Wu J, Wang X, Ren Z. The effect of foot orthoses for patients with patellofemoral pain syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Heliyon*. 2022;8(6):e09656. [DOI:10.1016/j.heliyon.2022.e09656] [PMID]

33. Wyndow N, Crossley KM, Vicenzino B, Tucker K, Collins NJ. A single-blinded, randomized, parallel-group superiority trial investigating the effects of footwear and custom foot orthoses versus footwear alone in individuals with patellofemoral joint osteoarthritis: a phase II pilot trial protocol. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2017;10(1):19. [DOI:10.1186/s13047-017-0200-y] [PMID]
34. Chiu MC, Wu HC, Chang LY. Gait speed and gender effects on center of pressure progression during normal walking. *Gait & Posture*. 2013;37(1):43-8. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.05.030] [PMID]
35. Ruiz OG, Dhaher Y. Multi-color and multi-material 3D printing of knee joint models. *3D Printing in Medicine*. 2020;7:12. [DOI:10.1186/s41205-021-00100-0] [PMID]
36. Jones BQ, Covey CJ, Sineath MH. Nonsurgical management of knee pain in adults. *American Family Physician*. 2015;92(10):875-83.
37. Sluijs EM, Kok GJ, Van der Zee J. Correlates of exercise compliance in physical therapy. *Physical Therapy*. 1993;73(11):771-82. [DOI:10.1093/ptj/73.11.771] [PMID]
38. Cherian JJ, Jauregui JJ, Leichter AK, Elmallah RK, Bhav A, Mont MA. The effects of various physical non-operative modalities on pain in osteoarthritis of the knee. *The Bone & Joint Journal*. 2016;98-B(1 Suppl A):89-94. [DOI:10.1302/0301-620X.98B1.36353] [PMID]
39. Perry J, Burnfield J. *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2024. [DOI:10.1201/9781003525592]
40. Hinman RS, Heywood SE, Day AR. Aquatic physical therapy for hip and knee osteoarthritis: results of a single-blind randomized controlled trial. *Physical Therapy*. 2007;87(1):32-43. [DOI:10.2522/ptj.20060006] [PMID]
41. Ageberg E, Bennell KL, Hunt MA, Simic M, Roos EM, Creaby MW. Validity and inter-rater reliability of medio-lateral knee motion observed during a single-limb mini squat. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2010;11:265. [DOI:10.1186/1471-2474-11-265] [PMID]
42. Jansen MJ, Viechtbauer W, Lenssen AF, Hendriks EJM, de Bie RA. Strength training alone, exercise therapy alone, and exercise therapy with passive manual mobilisation each reduce pain and disability in people with knee osteoarthritis: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*. 2011;57(1):11-20. [DOI:10.1016/S1836-9553(11)70002-9] [PMID]
43. Brown GA. AAOS clinical practice guideline: treatment of osteoarthritis of the knee. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2013;21(9):577-9. [DOI:10.5435/JAAOS-21-09-577] [PMID]
44. Zhang Y, Jordan JM. Epidemiology of osteoarthritis. *Clinics in Geriatric Medicine*. 2010;26(3):355-69. [DOI:10.1016/j.cger.2010.03.001] [PMID]
45. Andriacchi TP, Mündermann A, Smith RL, Alexander EJ, Dyrby CO, Koo S. A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Annals of Biomedical Engineering*. 2004;32(3):447-57. [DOI:10.1023/B:ABME.0000017541.82498.37] [PMID]
46. Messier SP, Gutekunst DJ, Davis C, DeVita P. Weight loss reduces knee-joint loads in overweight and obese older adults with knee osteoarthritis. *Arthritis & Rheumatism*. 2005;52(7):2026-32. [DOI:10.1002/art.21139] [PMID]
47. Vincent HK, Vincent KR. Obesity and inpatient rehabilitation outcomes following knee arthroplasty: a multicenter study. *Obesity (Silver Spring)*. 2008;16(1):130-6. [DOI:10.1038/oby.2007.10] [PMID]

48. Gómez R, Conde J, Scotece M, Gómez-Reino JJ, Lago F, Gualillo O. What's new in our understanding of the role of adipokines in rheumatic diseases? *Nature Reviews Rheumatology*. 2011;7(9):528-36. [DOI:10.1038/nrrheum.2011.107] [PMID]
49. Messier SP, Mihalko SL, Legault C, Miller GD, Nicklas BJ, DeVita P, et al. Effects of intensive diet and exercise on knee joint loads, inflammation, and clinical outcomes among overweight and obese adults with knee osteoarthritis: the IDEA randomized clinical trial. *Journal of the American Medical Association*. 2013;310(12):1263-73. [DOI:10.1001/jama.2013.277669] [PMID]
50. Christensen R, Bartels EM, Astrup A, Bliddal H. Effect of weight reduction in obese patients diagnosed with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2006;66(4):433-9. [DOI:10.1136/ard.2006.065904] [PMID]
51. Sarma T, Kumar Saxena K, Majhi V, Pandey D, Prakash Tewari R, Sahai N. Development of active ankle-foot orthotic device. *Materials Today Proceedings*. 2020;26:918-21. [DOI:10.1016/j.matpr.2020.01.143]
52. Collins N, Crossley K, Beller E, Darnell R, McPoil T, Vicenzino B. Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: randomized clinical trial. *British Journal of Sports Medicine*. 2009;43(3):163-8. [DOI:10.1136/bmj.a1735]
53. Branthwaite HR, Payton CJ, Chockalingam N. The effect of simple insoles on three-dimensional foot motion during normal walking. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2004;19(9):972-7. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2004.06.009] [PMID]
54. Collins NJ, Hinman RS, Menz HB, Crossley KM. Immediate effects of foot orthoses on pain during functional tasks in people with patellofemoral osteoarthritis: a cross-over, proof-of-concept study. *The Knee*. 2017;24(1):76-81. [DOI:10.1016/j.knee.2016.09.016] [PMID]
55. Murley GS, Landorf KB, Menz HB, Bird AR. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. *Gait & Posture*. 2009;29(2):172-87. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2008.08.015] [PMID]
56. Mills K, Blanch P, Chapman AR, McPoil TG, Vicenzino B. Foot orthoses and gait: a systematic review and meta-analysis of literature pertaining to potential mechanisms. *British Journal of Sports Medicine*. 2010;44(14):1035-46. [DOI:10.1136/bjism.2009.066977] [PMID]
57. Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, Stollberg J, Petrykowski M, Carson A, et al. Cyborg beast: a low-cost 3D-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Research Notes*. 2015;8(1):10. [DOI:10.1186/s13104-015-0971-9] [PMID]
58. Cao S, Zan Q, Wang B, Fan X, Chen Z, Yan F. Efficacy of non-pharmacological treatments for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. *Heliyon*. 2024;10(17):e36682. [DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e36682] [PMID]
59. Haq MRU, Nazir A, Lin SC, Jeng JY. Design and performance evaluation of multifunctional midsole using functionally gradient wave springs produced using multijet fusion additive manufacturing process. *Materials Today Communications*. 2022;31:103505. [DOI:10.1016/j.mtcomm.2022.103505]
60. Moseng T, Vliet Vlieland TPM, Battista S, Beckwée D, Boyadzhieva V, Conaghan PG, et al. EULAR recommendations for the non-pharmacological core management of hip and knee osteoarthritis: 2023 update. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2024;83(6):730-40. [DOI:10.1136/ard-2023-225041] [PMID]

61. Yau W. Updated recommendations on knee osteoarthritis management: The Hong Kong College of Orthopaedic Surgeons position statement. *Hong Kong Medical Journal*. 2025;31(4):265-76. [DOI:10.12809/hkmj2411813] [PMID]
62. Atallah H, Qufabz T, Bakhsh HR, Ferriero G. The current state of 3D-printed orthoses clinical outcomes: a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2025;26(1):822. [DOI:10.1186/s12891-025-09070-4] [PMID]
63. Mougin F, Begon M, Desmyttere G, Bleau J, Nault ML, Cherni Y. Impact of a 3D-printed orthosis on the knee biomechanics in individuals with anterior cruciate ligament injury during daily activities. *Gait & Posture*. 2024;113:44-5. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2024.07.057]
64. Kubach J, Pasurka M, Lueg J, Betsch M. Clinical evaluation of novel custom 3D-printed meshed-silicone orthotics utilizing standing foot scans and dynamic gait data. *Biomedical Engineering and Computational Biology*. 2025;16:11795972251371476. [DOI:10.1177/11795972251371476] [PMID]
65. Shtroblia V, Petakh P, Kamyshna I, Halabitska I, Kamyshnyi O. Recent advances in the management of knee osteoarthritis: a narrative review. *Frontiers in Medicine*. 2025;12:1523027. [DOI:10.3389/fmed.2025.1523027] [PMID]
66. Isaji Y, Kurasawa Y, Sasaki D, Hayashi M, Kitagawa T. Psychological intervention for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Psychology, Health & Medicine*. 2025;30(3):636-62. [DOI:10.1080/13548506.2025.2454039] [PMID]
67. Phelps T, Gilby J, Hosking J, Gill J. Psychological interventions added to standard care improve pain and function outcomes in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Musculoskeletal Care*. 2025;23(2):e70141. [DOI:10.1002/msc.70141] [PMID]
68. Prathibha D, Soundararajan K, Antony LAP, Subbiah K, Tamilarasi S, Gajalakshmi C. Impact of psychosocial interventions on clinical outcomes among knee pain individuals with psychosocial impairments: a systematic review. *Journal of Neonatal Surgery*. 2025;14(3):137-41. [DOI:10.52783/jns.v14.2187]
69. 3D Printed Orthotics Market Report [Internet]. Archive Market Research; 2025 [cited 2025 Nov 5]. Available from: <https://www.archivemarketresearch.com/reports/3d-printed-orthotics-326501>
70. Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB, et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. *Gait & Posture*. 2013;37(3):445-51. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.09.007] [PMID]
71. Donatelli R. Abnormal biomechanics of the foot and ankle. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1987;9(1):11-6. [DOI:10.2519/jospt.1987.9.1.11] [PMID]
72. Orthobullets. Acquired spastic equinovarus deformity - Foot & Ankle [Internet]. [cited 2023 Nov 29]. Available from: <https://www.orthobullets.com/foot-and-ankle/7000/acquired-spastic-equinovarus-deformity>
73. Urquhart DM, Phymaung PP, Dubowitz J, Fernando S, Wluka AE, Raajmaakers P, et al. Are cognitive and behavioural factors associated with knee pain? A systematic review. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. 2015;44(4):445-55. [DOI:10.1016/j.semarthrit.2014.07.005] [PMID]
74. Truong LK, Mosewich AD, Holt CJ, Le CY, Miciak M, Whittaker JL. Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury: a scoping review. *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54(19):1149-56. [DOI:10.1136/bjsports-2019-101206] [PMID]

75. Brosseau L, Taki J, Desjardins B, Thevenot O, Fransen M, Wells GA, et al. The Ottawa panel clinical practice guidelines for the management of knee osteoarthritis. Part two: strengthening exercise programs. *Clinical Rehabilitation*. 2017;31(5):596-611. [DOI:10.1177/0269215517691084] [PMID]
76. Burley CV, Casey AN, Jones MD, Wright KE, Parmenter BJ. Nonpharmacological approaches for pain and symptoms of depression in people with osteoarthritis: systematic review and meta-analyses. *Scientific Reports*. 2023;13(1):15449. [DOI:10.1038/s41598-023-41709-x] [PMID]
77. Panhale VP, Walankar PP, Khedekar SS. Chronic pain and fear-avoidance beliefs: a narrative review. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2021;11(6):219-25. [DOI:10.52403/ijhsr.20210634]

## مطالب تکمیلی

## پیوست A

جدول ۳. انواع کف پا و ناهنجاری‌های آن – طبقه‌بندی

| Abnormal Pronation                     |                       | Abnormal Supination                               |                                                                    |                                       |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                        |                       | Pes cavus (70)                                    | Pes cavovarus (71)                                                 | Pes equinovarus (72)                  |
| Congenital:                            | Developmental         | Neuromuscular                                     | Neurologic                                                         | Congenital                            |
|                                        |                       |                                                   |                                                                    |                                       |
| • Talipes calcaneovalgus               | • Hip dysplasia       | • Hereditary neuropathy                           | • Unilateral - spinal cord diseases                                | • Clubfoot                            |
| • Talipes calcaneovarus                | • Femoral antitortion | • Spinal cord defects                             | • Bilateral Charcot-Marie-Tooth disease                            | • Acquired                            |
| • Forefoot varus/congenital metatarsus | • Tibial torsion      | • Idiopathic                                      | • Muscle imbalances—tibialis anterior and peroneus brevis weakness | • Due to spasticity,                  |
| • Convex pes valgus                    | • Genu valgus/varus   | • Subtle cavus feet without neurological disorder | Idiopathic                                                         | • Associated conditions               |
| • Tarsal coalition                     |                       | • Ankle Osteoarthritis                            | Traumatic                                                          | • Contractures of Joint               |
|                                        |                       | • Rheumatoid Arthritis                            | • Usually bilateral and subtle                                     | • Knee hyperextension in stance phase |
|                                        |                       | • Tarsal Coalition                                | • Malunion of Talus fracture                                       |                                       |
|                                        |                       | • Acquired                                        | • compartment syndrome                                             |                                       |
|                                        |                       | • Neuropathy                                      | • crush injury                                                     |                                       |
|                                        |                       | • Cerebral Palsy                                  |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Brain injury                                    |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Traumatic                                       |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Posterior compartment syndrome of leg           |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Subtalar fracture or Malunion of calcaneal      |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Lisfranc fractures                              |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Crush injuries                                  |                                                                    |                                       |
|                                        |                       | • Peroneal Nerve injury                           |                                                                    |                                       |

## پیوست B

## تأثیر عوامل روان‌شناختی بر درد زانو و مدیریت آن

تأثیر و شیوع درد زانو در میان افراد در سراسر جهان قابل چشم‌پوشی نیست. این وضعیت شایع و ناتوان‌کننده زندگی روزمره میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۷۳). علت‌شناسی درد زانو معمولاً به عوامل فیزیولوژیکی مانند آسیب، آرتريت یا مشکلات مکانیکی نسبت داده می‌شود؛ با این حال، پژوهش‌های اخیر نقش چشمگیر عوامل روان‌شناختی را در بروز و نیز مدیریت درد زانو آشکار کرده‌اند (۷۴). این بخش از مقاله، به بررسی رابطه پیچیده میان عوامل روان‌شناختی و تجربه درد زانو می‌پردازد و تلاش دارد با نگاهی چندوجهی، ابعاد مختلف این پدیده را روشن کرده و راهکارهایی برای مدیریت مؤثر آن در چارچوب روان‌شناختی ارائه دهد. مطالب زیر، مروری کوتاه بر مهم‌ترین عوامل روانی مؤثر بر بروز و کنترل درد زانو (شکل ۴) فراهم می‌آورد.

## ارتباط ذهن و بدن:

رابطه میان ذهن و بدن نقش بسیار مهمی در درمان درد زانو دارد. متغیرهای روانی مانند اضطراب، استرس و افسردگی می‌توانند درک فرد از درد را تشدید کنند. در مقابل، اجرای تمرین‌های ذهن‌آگاهی، تکنیک‌های آرام‌سازی و فرایندهای شناختی مثبت می‌تواند از شدت درد بکاهد. ادغام درمان‌های روانی و جسمی برای دستیابی به تسکین جامع درد زانو ضروری است (۷۵).

## افسردگی:

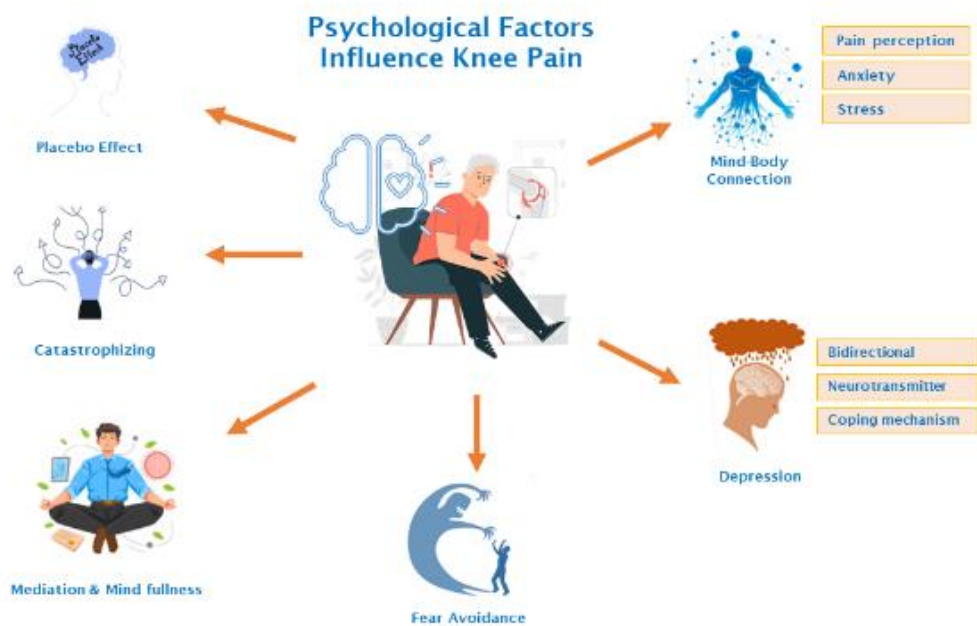
میان درد زانو و افسردگی رابطه‌ای قوی وجود دارد. وجود درد مزمن ناشی از مشکلات زانو می‌تواند به بروز یا تشدید علائم افسردگی منجر شود؛ که عمدتاً ناشی از محدودیت حرکتی و کاهش بهزیستی کلی است. از سوی دیگر، افسردگی می‌تواند احساس درد را تقویت کرده و روند بهبودی را مختل کند. بنابراین، توجه هم‌زمان به سلامت جسمی و روانی افراد از طریق مداخلات پزشکی و روان‌شناختی برای مدیریت مؤثر هر دو وضعیت ضروری است (۷۶).

## ترس از حرکت:

بر اساس مدل «اجتناب از ترس»، افرادی که درد زانو را تجربه می‌کنند ممکن است در اثر انتظار درد، نسبت به حرکت واکنش ترس‌گونه نشان دهند. این ترس می‌تواند منجر به پرهیز از فعالیت‌های بدنی شود و در نتیجه، کاهش آمادگی جسمانی را در پی داشته باشد که نهایتاً احساس درد زانو را تشدید می‌کند (۷۷).

## جمع‌بندی:

تجربه درد زانو تنها به بُعد فیزیکی آن محدود نمی‌شود؛ بلکه حاصل تعامل پیچیده عوامل زیستی، روان‌شناختی و اجتماعی است. درک جامع از جنبه‌های روانی مرتبط با درد زانو و اثرات آن برای تدوین راهبردهای مؤثر مدیریت درد ضروری است. با بررسی عواملی همچون استرس، اضطراب، افسردگی، ترس از حرکت، حمایت اجتماعی، باورها و نگرش‌های مرتبط با درد، می‌توان مزایای رویکردهای ذهن-بدن را در درمان درد زانو ارزیابی کرد. با اتخاذ رویکردی جامع‌تر و کل‌نگر، متخصصان حوزه سلامت می‌توانند تجربه درمانی مؤثرتری را برای مبتلایان به درد زانو فراهم سازند.



شکل ۴. عوامل روان‌شناختی گوناگون مؤثر بر درد زانو و مدیریت آن