

3UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA
Curso de Medicina

ADRYAN TYRONE ALVES DE MORAIS
ENZO BOAVENTURA SANDES
LEONARDO PINHEIRO REZENDE
MARIANA BESSA MARINHO
MATHEUS MACHADO MACIEL

**O uso de sensores inerciais na monitorização biomecânica de pacientes submetidos à
artroplastia de joelho: uma revisão sistemática**

Anápolis – Goiás

2026

O uso de sensores inerciais na monitorização biomecânica de pacientes submetidos à artroplastia de joelho: uma revisão sistemática

Trabalho de Curso apresentado à disciplina de Iniciação Científica do curso de medicina do curso de medicina da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, sob a orientação do Prof. Dr. Andrei Machado Viegas Trindade.

RESUMO

A utilização de sensores inerciais é uma inovação que permite a avaliação da mobilidade, função e marcha de pacientes submetidos à artroplastia unilateral total de joelho para tratamento de osteoartrite avançada. Esta revisão sistemática (PROSPERO: CRD420251002284), conduzida conforme PRISMA, caracterizou o uso de sensores inerciais (IMUs) na avaliação da mobilidade, função e marcha em pacientes submetidos à artroplastia total do joelho (ATJ) unilateral por osteoartrite avançada. Realizaram-se buscas em PubMed, Embase, Web of Science e Scopus, sem restrição de data ou idioma. Dois revisores independentes selecionaram títulos/resumos e textos completos; o risco de viés foi avaliado pela versão adaptada (10 itens) de Downs & Black. Vinte e um estudos transversais foram incluídos, totalizando 758 pacientes pós-ATJ e aproximadamente 210 controles saudáveis. Os estudos utilizaram de 1 a 15 sensores, com posicionamento frequente em região lombar/pelve, e protocolos heterogêneos (caminhadas de 6–40 m, esteira, circuitos e monitoramento em ambiente real/free-living). Os desfechos mais reportados foram parâmetros espaciotemporais (velocidade, cadência, comprimento do passo, tempos/fases) e cinemáticos (principalmente ângulos de joelho e movimentos de pelve/tronco). Em estudos que compararam IMUs à captura óptica de movimento (padrão-ouro), foram relatados erros angulares $<5^\circ$ para ângulos do joelho; para muitos parâmetros espaciotemporais, a confiabilidade tipicamente excedeu ICC $>0,85$. Não foram identificados estudos que estratificassem resultados por desenho/tipo de implante. Conclui-se que IMUs são ferramentas válidas e versáteis para avaliação funcional pós-ATJ, porém a heterogeneidade metodológica limita comparações diretas; a padronização de protocolos e estudos sobre impacto do desenho protético são prioridades.

Palavras-chaves: Artroplastia. Joelho. Reabilitação. Sensor.

ABSTRACT

The use of inertial sensors is an innovation that enables the assessment of mobility, function, and gait in patients undergoing unilateral knee arthroplasty for the treatment of advanced osteoarthritis. This systematic review (PROSPERO: CRD420251002284), conducted in accordance with PRISMA, characterized the use of inertial sensors (IMUs) to evaluate mobility, function, and gait in patients who underwent unilateral total knee arthroplasty (TKA) for advanced osteoarthritis. Searches were performed in PubMed, Embase, Web of Science, and Scopus, with no restrictions on date or language. Two independent reviewers screened titles/abstracts and full texts; risk of bias was assessed using an adapted 10-item Downs & Black checklist. Twenty-one cross-sectional studies were included, totaling 758 post-TKA patients and approximately 210 healthy controls. Studies used 1 to 15 sensors, most commonly positioned on the lumbar/pelvic region, and employed heterogeneous protocols (6–40 m walkways, treadmill tests, oval circuits, and free-living monitoring). The most frequently reported outcomes were spatiotemporal parameters (speed, cadence, step length, phase timings) and kinematic measures (primarily knee angles and pelvic/trunk motions). In studies comparing IMUs with optical motion capture (gold standard), angular errors $<5^\circ$ were reported for knee angles; for many spatiotemporal parameters, reliability typically exceeded ICC >0.85 . No studies stratified outcomes by implant design/type. In conclusion, IMUs are valid and versatile tools for functional assessment after TKA; however, methodological heterogeneity limits direct comparisons. Protocol standardization and studies addressing the impact of prosthetic design are priorities.

Keywords: Arthroplasty. Knee. Rehabilitation. Sensor.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADM – Amplitude de Movimento	mUKA – Artroplastia Unicompartimental Medial do Joelho
AJ – Artroplastia de Joelho	OA – Osteoartrite
ATJ – Artroplastia Total de Joelho	OKS – Oxford Knee Score
ATQ – Artroplastia Total de Quadril	OMC – Sistemas Ópticos de Captura de Movimento
AUJ – Artroplastia Unicondilar de Joelho	PICO – Estratégia de busca: População, Intervenção, Comparação e Desfecho (Outcome)
DAMPS – Estruturas moleculares relacionadas ao dano tecidual (Damage-Associated Molecular Patterns)	PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis
DP – Desvio Padrão	PROSPERO – International Prospective Register of Systematic Reviews
FT – Fisioterapia	RMSE – Erro Quadrático Médio (Root Mean Square Error)
FTA – Femorotibial Angle (Ângulo Femorotibial)	SEn – Entropia Amostral (Sample Entropy)
HKA – Hip-Knee-Ankle (Quadril-Joelho-Tornozelo)	TC6M – Teste de Caminhada de Seis Minutos
ICC – Coeficiente de Correlação Intraclasse	TLRs – Receptores do tipo Toll (Toll-Like Receptors)
IMC – Índice de Massa Corporal	TNF- α – Fator de Necrose Tumoral Alfa
IMU – Unidade de Medida Inercial (Inertial Measurement Unit)	TUG – Timed Up & Go Test
JOA – Japanese Orthopaedic Association (Escore da Associação Ortopédica Japonesa)	VCC – Velocidade de Caminhada Confortável
KL – Escala de Kellgren-Lawrence	WOMAC – Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index
KSS – Knee Society Score	
MEC – Matriz Extracelular	
MMPs – Metaloproteinases da Matriz	
MOCAP – Captura de Movimento (Motion Capture)	
MRP – Monitoramento Remoto do Paciente	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 EPIDEMIOLOGIA DA OSTEOARTRITE	10
2.2 BIOMECÂNICA E FATORES DE RISCO	11
2.3 FISIOPATOLOGIA DA OSTEOARTRITE	12
2.4 DIAGNÓSTICO	13
2.5 TRATAMENTO	14
2.6 USO DE SENSORES NA REABILITAÇÃO DO TRATAMENTO CIRÚRGICO	16
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. METODOLOGIA	19
4.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA	19
4.2 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE	20
4.3 RISCO DE VIESES	20
4.4 EXTRAÇÃO DOS DADOS	21
5. RESULTADOS	22
5.1 RESULTADOS DA BUSCA	22
5.2. CARACTERÍSTICA DA POPULAÇÃO	23
5.3. CARACTERÍSTICA DOS ESTUDOS INCLUÍDOS	23
5.4. RISCO DE VIESES	24
5.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS	26
6. DISCUSSÃO	35
6.1. COMPARAÇÃO COM A LITERATURA EXISTENTE E CONTEXTO TEÓRICO	35
6.2. IMPLICAÇÕES CLÍNICAS E PARA A PRÁTICA	36
6.3. CONTRIBUIÇÕES	37
6.4. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	38
7. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40
ANEXOS	55

1. INTRODUÇÃO

A osteoartrite é uma doença articular degenerativa crônica, sendo o joelho a articulação mais frequentemente acometida, com repercussões relevantes sobre a capacidade funcional e a qualidade de vida.¹ Em estágios avançados, quando a dor se torna incapacitante e a função articular está gravemente comprometida, a artroplastia total do joelho (ATJ) constitui a principal opção cirúrgica para reduzir sintomas e restaurar a funcionalidade, buscando melhorar a qualidade de vida desses pacientes.²

A avaliação do pós-operatório após ATJ é essencial para monitorar a recuperação e orientar a reabilitação. Tradicionalmente, empregam-se questionários subjetivos, frequentemente respondidos pelo próprio paciente; apesar de amplamente utilizados, esses instrumentos apresentam limitações relacionadas à subjetividade, à variabilidade de percepção e à menor capacidade de detectar alterações funcionais sutis.³

Nesse contexto, instrumentos de medida objetivos, incluindo sensores vestíveis, têm sido propostos como alternativas para complementar a avaliação clínica, com potencial de aumentar a sensibilidade e a especificidade quando comparados a métodos estritamente tradicionais.⁴

Métodos quantitativos e qualitativos de avaliação da marcha em pacientes submetidos à artroplastia fornecem informações mais consistentes sobre padrões de movimento e desempenho funcional, contribuindo para a personalização de tratamentos, o direcionamento da reabilitação e o acompanhamento de mudanças pós-operatórias.⁵

Entretanto, especialmente em pesquisas, a avaliação biomecânica da marcha frequentemente depende de laboratórios especializados, cuja disponibilidade, custo e tempo demandado dificultam a incorporação rotineira na prática clínica.⁵ Assim, métodos de fácil aplicação, baixo custo e boa confiabilidade tornam-se preferíveis para o acompanhamento ambulatorial.

Dessa forma, a utilização de sistemas portáteis, particularmente as unidades de medida inercial (IMU), para mensuração ambulatorial de parâmetros da marcha, pode ampliar a viabilidade de avaliações objetivas por profissionais de saúde e facilitar o monitoramento do paciente em ambientes clínicos e do cotidiano.²⁻⁵

Apesar do interesse crescente, persistem lacunas relacionadas à heterogeneidade dos protocolos, à ausência de comparações diretas entre métodos e à necessidade de maior padronização, o que limita a identificação de abordagens mais sensíveis e clinicamente aplicáveis. Além disso, a predominância de avaliações baseadas em questionários subjetivos na prática clínica reforça a necessidade de sínteses sistemáticas que consolidem evidências sobre a utilidade e aplicabilidade de medidas objetivas.

Portanto, o objetivo desta revisão sistemática é avaliar a utilização de sensores inerciais e demais dispositivos eletrônicos na mensuração de parâmetros ambulatoriais da marcha de indivíduos submetidos à artroplastia de joelho.

2. REVISÃO DE LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Epidemiologia da Osteoartrite

A osteoartrite (OA) é uma das doenças articulares mais prevalentes globalmente, com impacto substancial sobre dor, limitação funcional e qualidade de vida, sobretudo em indivíduos idosos. A prevalência aumenta progressivamente com a idade, atingindo aproximadamente 10% dos homens e 18% das mulheres acima de 60 anos, com elevação particularmente marcada em mulheres no período pós-menopausa, possivelmente relacionada a alterações hormonais e seus efeitos sobre a homeostase articular.^{6,7}

Entre as apresentações clínicas, a OA do joelho destaca-se como uma das formas mais frequentes, com prevalência global estimada entre 10% e 30% na população adulta, incidindo com maior frequência em idosos e em mulheres.⁸

Nas últimas décadas, observou-se crescimento expressivo da carga global da OA, com aumento de 132,2% nos últimos 30 anos e projeções de elevação adicional entre 60% e 100% até 2050, conforme estimativas derivadas do Global Burden of Disease (GBD).⁹ Esse cenário é atribuído, em parte, ao envelhecimento populacional e ao aumento do índice de massa corporal (IMC), particularmente em países de alta renda. No Brasil, a tendência é semelhante, com prevalência crescente entre idosos e incremento na demanda por intervenções cirúrgicas, como a artroplastia de joelho (AJ).^{10,11}

A OA configura-se como uma das principais causas de incapacidade em adultos em escala global. Quando estratégias conservadoras (p. ex., fisioterapia e tratamento medicamentoso) falham, a ATJ torna-se alternativa efetiva para casos avançados, visando alívio da dor, restauração da função articular e melhora da qualidade de vida.^{12,13}

No Brasil, estima-se a realização de aproximadamente 100.000 artroplastias de joelho anualmente, com tendência de crescimento associada ao envelhecimento populacional e ao aumento da obesidade.¹⁴ O impacto econômico da OA é relevante, com custos globais superiores a US\$ 106 bilhões atribuídos à perda de produtividade e ao absenteísmo.¹⁵ Adicionalmente, o aumento de casos de OA de início precoce (especialmente abaixo de 55 anos) amplia o ônus social e econômico.¹⁶

Embora a AJ apresente taxas de satisfação superiores a 80%, complicações como infecção, trombose venosa profunda e falha do implante podem ocorrer, ainda que

relativamente raras.¹⁷ Considerando o aumento da expectativa de vida e a maior prevalência de obesidade, a demanda por estratégias de prevenção, tratamento eficaz e ampliação do acesso à ATJ tende a crescer, reforçando a necessidade de otimização do acompanhamento e da reabilitação pós-operatória.¹⁸

2.2 Biomecânica e fatores de risco

A OA é uma condição multifatorial resultante da interação entre fatores biomecânicos, predisposição genética e fatores ambientais. A biomecânica articular exerce papel central na gênese e progressão da doença, uma vez que alterações estruturais e funcionais expõem as articulações a forças mecânicas desfavoráveis.¹⁹ Vias biológicas intra-articulares respondem a estímulos mecânicos, e desalinhamentos associados à fraqueza muscular podem acelerar a progressão.^{20,21} No joelho, desalinhamentos em varo ou valgo aumentam a sobrecarga em compartimentos específicos, elevando o risco e a gravidade da OA.²²

A função muscular constitui elemento biomecânico determinante. A fraqueza do quadríceps associa-se a pior evolução da OA do joelho, comprometendo estabilidade e distribuição de carga.²¹ Lesões articulares, especialmente de ligamentos e meniscos, alteram o padrão de carga e podem aumentar expressivamente o risco de OA do joelho.^{22,23}

Os fatores de risco incluem idade avançada, predisposição genética, características anatômicas, atividades físicas intensas, lesões articulares, sedentarismo e obesidade.²⁴ A idade é o fator isolado mais robusto, com aumento importante de prevalência em populações envelhecidas.^{25,26} A genética também contribui; estudos de associação genômica ampla identificaram loci associados, incluindo polimorfismos relacionados à morfologia articular, IMC e densidade mineral óssea, sugerindo natureza complexa e multifatorial do fenótipo.^{27,28}

Aspectos anatômicos, como morfologia articular, influenciam risco de OA; condições como displasia do quadril e impacto femoroacetabular elevam a probabilidade de OA.^{23,24} Atividades físicas intensas na adolescência podem contribuir para alterações morfológicas associadas ao risco.²⁵ Fatores comportamentais, como sedentarismo, também são relevantes e potencialmente modificáveis no contexto de prevenção.²⁹ A obesidade, além de aumentar carga mecânica em articulações de sustentação, pode induzir inflamação mediada por adipocinas, contribuindo para progressão, especialmente no joelho.²³

Esse estado inflamatório crônico associa-se a aumento de risco.^{25,26} Evidências também sugerem relação entre suscetibilidade à OA e densidade mineral óssea, com possíveis efeitos distintos sobre início e progressão.²⁹ Os mecanismos associados a estrogênios têm sido investigados, embora permaneçam incompletamente elucidados.²⁴ Em síntese, o entendimento integrado de biomecânica, genética e fatores ambientais é essencial para orientar prevenção, manejo e reabilitação.

2.3 Fisiopatologia da Osteoartrite

A OA é uma doença crônica caracterizada não apenas por desgaste mecânico da cartilagem, mas por alterações que envolvem todos os tecidos articulares, com mudanças estruturais, metabólicas e funcionais detectáveis.³⁰ O processo acomete cartilagem articular, osso subcondral, sinóvia e meniscos, com participação de mecanismos imunes, especialmente da imunidade inata.³¹

Na cartilagem articular, a matriz extracelular é composta predominantemente por colágeno tipo II, conferindo resistência à tração.³² A arquitetura e composição bioquímica são reguladas por condrócitos, que respondem a alterações químicas e mecânicas do microambiente.³³ Sob estresse mecânico, condrócitos ativados produzem mediadores inflamatórios (p. ex., interleucina 1 β , interleucina 6 e TNF- α) e enzimas degradadoras de matriz, incluindo metaloproteinases.³⁴ Essa resposta associa-se a aumento de conteúdo hídrico, perda de glicosaminoglicanos e degradação de proteoglicanos, enquanto metaloproteinases participam diretamente da patogênese por degradação da matriz.^{35,36}

Em estágios subsequentes, ocorre hipertrofia condrocitária e perpetuação do processo inflamatório, favorecendo progressão da degradação.³⁷ Com a continuidade do dano, a apoptose de condrócitos contribui para desequilíbrio entre síntese e catabolismo de colágeno e proteoglicanos, com predominância de catabolismo.³⁸

No osso subcondral, a OA associa-se a remodelamento anômalo, com desequilíbrios entre osteoblastos e osteoclastos, podendo surgir microfraturas, áreas de necrose e alterações subcondrais que contribuem para deterioração estrutural.³⁹ Observam-se osteófitos, como tentativa de estabilização articular, e cistos subcondrais relacionados ao comprometimento do osso subjacente.^{40,41} Na sinóvia, inflamação pode ocorrer precocemente, com liberação de mediadores inflamatórios e enzimas degradativas por sinoviócitos, resultando em hipertrofia,

proliferação celular e aumento da vascularização, contribuindo para degeneração articular.⁴² A sinovite relaciona-se a sintomas e pode prever progressão e perda de cartilagem.^{43, 44}

Lesões meniscais são frequentes e associam-se a piora estrutural e funcional, incluindo extrusão/subluxação meniscal, com potenciais repercussões em musculatura periarticular (quadríceps, isquiotibiais e músculos do quadril) e agravamento biomecânico.^{45, 46} Em relação ao sistema imune, condrócitos expressam receptores do tipo Toll (TLRs), capazes de reconhecer DAMPS derivados de dano tecidual, como fragmentos da matriz extracelular.⁴⁷ A degradação mediada por MMPs pode amplificar inflamação e estabelecer ciclo vicioso de dano.⁴⁸

Clinicamente, os principais desfechos incluem dor crônica, perda de funcionalidade e redução da mobilidade, relacionadas à inflamação persistente e às modificações estruturais.^{49,50}

2.4 Diagnóstico

A investigação diagnóstica da OA usualmente se inicia a partir de sintomas que motivam busca por atendimento.⁵¹ Entretanto, o uso de sintomas como critério diagnóstico enfrenta limitações: podem emergir apenas em doença avançada e potencialmente irreversível, flutuar ao longo do tempo e sofrer influência de condições concomitantes e modulação da via da dor.^{52,53}

Considerando a relevância do diagnóstico precoce para intervenções e ensaios clínicos,⁵⁴ estratégias aplicadas em indivíduos com poucos sintomas devem apresentar baixo risco e eficácia comprovada, devido à relação limitada entre sintomas e progressão estrutural.⁵⁵ Assim, estudos voltados a diagnóstico precoce devem considerar o contexto de validação dos sintomas, frequentemente quantificados por relatos do paciente.⁵⁶

A radiografia convencional é método clássico, avaliando estreitamento do espaço articular, osteófitos, esclerose subcondral e cistos. Sistemas de pontuação incluem Kellgren e Lawrence⁵⁷ e OARSI.⁵⁸ Contudo, a mensuração da largura do espaço articular é descrita como mais sensível e confiável do que sistemas de escore,^{59, 60} sendo o desfecho aceito pela Agência Europeia de Medicamentos e pela Food and Drug Administration (EUA) para demonstrar eficácia de fármacos modificadores da doença.⁶¹

Ainda assim, essa mensuração apresenta limitações: incapacidade de detectar dano cartilaginoso focal, dependência do menisco e influência do posicionamento articular, além da necessidade de seguimento prolongado (≥ 2 anos).^{62,63}

A ressonância magnética (RM) é mais sensível para alterações estruturais precoces e suas medições podem superar as obtidas por radiografia.⁶⁴ A RM possibilita visualização detalhada tridimensional com alta definição.⁶⁵ A OARSI recomenda RM para avaliação morfológica da cartilagem.⁶⁶ Contudo, medidas morfológicas podem não capturar completamente adaptações funcionais ao longo da progressão e podem ser influenciadas por edema cartilaginoso em estágios iniciais.⁶⁷

A ultrassonografia tem se destacado na avaliação sinovial, especialmente em mãos e joelhos, onde a sinóvia pode ser visualizada com maior precisão.⁶⁸ Já a tomografia computadorizada não é amplamente utilizada para OA precoce por menor sensibilidade para tecidos moles; ainda assim, tecnologias recentes ampliam aplicações musculoesqueléticas.⁶⁹

O reconhecimento da OA como doença de toda a articulação impulsionou avaliações que integrem múltiplas estruturas. O valor preditivo da avaliação cartilaginosa aumenta quando lesões não cartilaginosas (p. ex., lesões de medula óssea, estado meniscal e sinovite) são consideradas.⁷⁰ Além disso, sistemas de pontuação foram desenvolvidos para joelho, quadril e mão, com boa confiabilidade e responsividade em ensaios clínicos.⁷¹

2.5 Tratamento

Avanços na compreensão da patogênese da OA permitiram melhor estratificação de risco, diagnóstico precoce e mensuração de eficácia terapêutica em janelas mais curtas.⁷¹ Apesar disso, múltiplas estratégias foram testadas em ensaios clínicos sem aprovação regulatória, dado que exigem simultânea modificação estrutural e melhora sintomática.⁷¹

Diversos fatores etiológicos são passíveis de intervenção. A perda de peso em indivíduos obesos reduz risco de desenvolvimento e melhora sintomas quando há doença estabelecida, com benefícios detectáveis em RM e marcadores bioquímicos.⁷² Intervenções voltadas à força muscular e capacidade aeróbica também melhoram sintomas, com tamanho de efeito elevado.⁷³

No campo cirúrgico de preservação articular, intervenções como reorientação acetabular (displasia), artroscopia do quadril (impacto femoroacetabular) e distração

temporária do joelho em OA terminal foram descritas;^{74, 75} entretanto, a evidência global permanece limitada, e ensaios controlados randomizados com seguimento prolongado são necessários para confirmar prevenção de progressão clínica e estrutural.^{76, 77}

A ATJ é considerada procedimento padrão-ouro para OA avançada. Trata-se de cirurgia reconstrutiva de grande porte que substitui superfícies articulares por componentes protéticos, geralmente metálicos e de polietileno (Figura 1),⁷⁸ com o objetivo de restaurar função, aliviar dor e melhorar qualidade de vida.⁷⁹ Pode ser indicada também em artrite reumatoide, necrose avascular e deformidades pós-traumáticas.⁸⁰ A artroplastia pode ser parcial ou total, sendo a total mais frequente em comprometimento tricompartmental.⁸¹

Figura 1 – Esquerda - Prótese Condilar total, proposta em 1973. Direita – Prótese condilar cimentada implantada



Fonte: site de informações a respeito da área de ortopedia¹

¹ Disponível em: <https://orthoinfo.aaos.org/pt/treatment/artroplastia-total-de-joelho-total-knee-replacement/>

2.6 Uso de sensores na reabilitação do tratamento cirúrgico

O avanço tecnológico tem impulsionado a incorporação de sensores no monitoramento e na orientação de exercícios terapêuticos no pós-operatório de artroplastia de joelho. Dispositivos capazes de registrar informações fisiológicas e biomecânicas em tempo real possibilitam análise mais objetiva da evolução funcional.⁸⁴ Entre esses recursos, destacam-se as unidades de medida inercial (Inertial Measurement Units – IMUs) (Figura 2),⁸⁵ geralmente compostas por acelerômetros, giroscópios e magnetômetros.

Figura 2 – Paciente avaliado por meio de uma Unidade de Medição Inercial, situada ao nível da vértebra L5



Fonte: internet²

O funcionamento das IMUs baseia-se na captação contínua de sinais relacionados ao movimento corporal. A integração desses sinais permite derivar parâmetros cinemáticos como amplitude de movimento, velocidade, cadência e estabilidade dinâmica.⁸⁶ Acelerômetros mensuram aceleração; giroscópios captam velocidade angular; magnetômetros auxiliam na estimativa de orientação espacial absoluta. Assim, as IMUs podem registrar padrões motores complexos de forma portátil, inclusive fora de laboratórios, como em clínicas e residências.⁸⁷

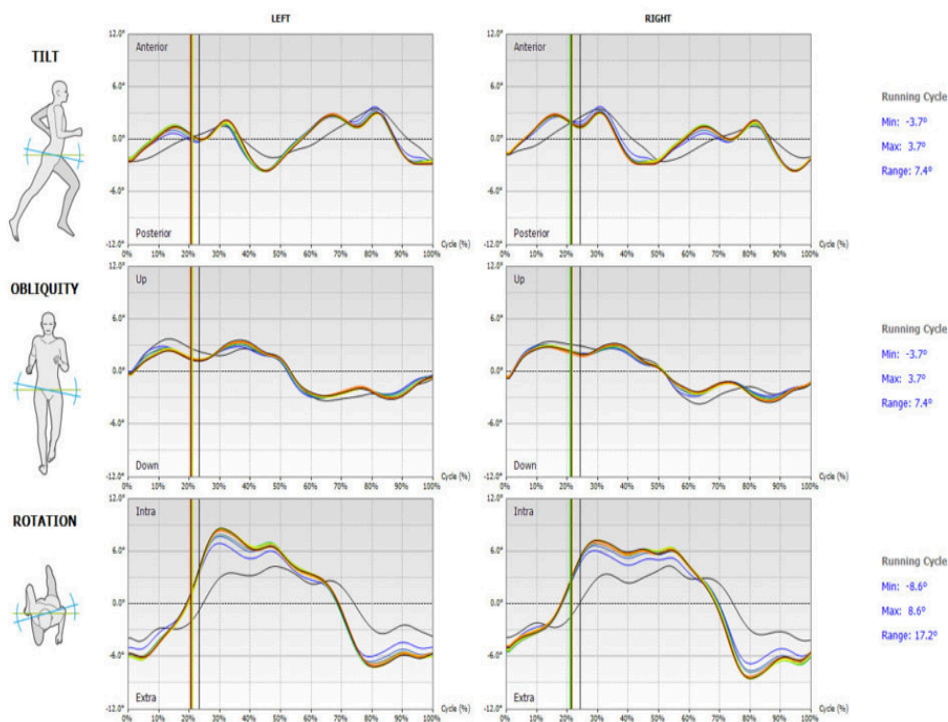
Sensores inerciais têm como propósito oferecer mensuração objetiva, contínua e portátil de função motora, com aplicações em análise da marcha, reabilitação neuromuscular, avaliação pós-operatória e monitoramento de desempenho.⁸⁸ Em geral, cada sistema integra software próprio para processamento e interpretação dos sinais (Figura 3),⁸⁹ o que pode

² Disponível em:

https://www.researchgate.net/figure/Montage-using-G-sensor-BTS-Bioengineering_fig2_374034767

influenciar comparabilidade entre estudos e reforça a relevância de protocolos padronizados e descrição detalhada de procedimentos (p. ex., posicionamento, calibração, algoritmos e condições de teste).

Figura 3 – Exemplo de processamento de dados coletados por meio de sensor inercial



Fonte: site de produtos de alta tecnologia para área ortopédica³

Em comparação a sistemas ópticos de captura de movimento (OMC), as IMUs apresentam vantagens relacionadas à portabilidade, menor custo e aplicabilidade em ambientes não controlados, além de possibilitarem feedback em tempo real e monitoramento remoto.⁹⁰ Estudos de validação reportam elevada confiabilidade intra-avaliador para parâmetros como fase de apoio, fase de balanço, cadência e velocidade, com coeficientes de correlação intraclasse superiores a 0,90 em condições específicas, e sugerem intercambialidade com OMC para determinadas medidas biomecânicas.⁹¹

Apesar disso, desafios permanecem para adoção ampla, incluindo custos, necessidade de treinamento, e integração com rotinas e sistemas clínicos, como prontuários eletrônicos.⁹² Ainda assim, evidências e experiências clínicas sustentam potencial significativo de expansão desses recursos na fisioterapia e reabilitação ortopédica, especialmente quando utilizados de modo padronizado e com foco na aplicabilidade clínica.⁹

³ Disponível em: <https://www.orthesys.com/gait-analysis/g-sensor/>

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Caracterizar, por meio de revisão sistemática de estudos transversais, a utilização de dispositivos eletrônicos e/ou sensores (com ênfase em unidades de medida inercial – IMUs) para a avaliação da mobilidade, função e marcha em pacientes submetidos à artroplastia unilateral total do joelho (ATJ) unilateral por osteoartrite avançada.

3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar e descrever os desfechos e parâmetros avaliados por dispositivos eletrônicos e/ou sensores (incluindo IMUs) na mensuração da mobilidade, função e marcha em pacientes pós-ATJ.
2. Identificar e sintetizar as variáveis biomecânicas (espaciotemporais e cinemáticas) reportadas nos estudos incluídos e verificar se houve estratificação, comparação ou análise explícita dos resultados por desenho/tipo de implante protético (quando aplicável).
3. Identificar e descrever os protocolos de execução ambulatorial empregados (p. ex., testes de caminhada, esteira, circuitos e monitoramento em ambiente real/free-living), incluindo posicionamento e número de sensores, condições de coleta e principais características metodológicas reportadas.

4. METODOLOGIA

Esta revisão sistemática foi registrada no PROSPERO (CRD420251002284), que consta no anexo um, de acordo com o guideline Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA).

4.1 Estratégia de busca

Por meio da combinação de descritores booleanos, foi efetuado um levantamento bibliográfico, no período de 20/08/2025 e 10/10/2025, através de buscas nas seguintes bases de dados: PubMed (National Library of Medicine), Embase, Scopus e Web of Science. Composto por dez etapas: 1ª) Identificação do tema; 2ª) Seleção da questão norteadora; 3ª) Protocolo; 4ª) Estabelecimento dos critérios de elegibilidade de estudos e busca na literatura; 5ª) Definição dos dados que serão extraídos dos estudos selecionados; 6ª) Categorização dos estudos; 7ª) Avaliação do risco de viés; 8ª) Avaliação e interpretação dos estudos incluídos; 9ª) Síntese dos resultados; 10ª) Apresentação da Revisão (PAGE, 2021).

Foi elaborada a seguinte pergunta norteadora na concepção da Revisão Sistemática: “Qual é a aplicabilidade e a eficácia dos dispositivos eletrônicos e/ou sensores na avaliação da mobilidade, função e marcha em pacientes submetidos à artroplastia unilateral total do joelho para tratamento de osteoartrose avançada?”. Através da estratégia PICO, sendo P: população/pacientes; I: intervenção; C: comparação/controle; O: desfecho/outcome, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do PICO que define o os critérios de elegibilidade para os artigos selecionados

POPULAÇÃO	Pacientes submetidos a artroplastia unilateral total do joelho, sem restrição quanto à idade
INTERVENÇÃO	Artroplastia unilateral total do joelho para tratamento de osteoartrose avançada do joelho
COMPARAÇÃO	Entre um grupo controle ou antes e depois da intervenção cirúrgica.
DESFECHO	Avaliação quantitativa da marcha e função articular

Fonte: elaborada pelos autores (2026)

A estratégia de busca realizada por meio utilizando os descritores booleanos e adaptada a cada base de dados será feita por meio dos seguintes termos: (((((gait) OR (walk*)) AND (((("inertial sens*") OR ("sensor unit")) OR (g-sensor)) OR ("inertial measurement unit")))) AND (knee)) AND ((replacement) OR (arthroplasty))).

4.2 Critérios de Elegibilidade

Os critérios de inclusão utilizados foram: estudos originais, escritos em inglês, publicados em uma revista científica, incluído indivíduos com artroplastia de joelhos e aferição da marcha por meio de sensores inerciais. Quanto aos critérios de exclusão, terão: artigos de revisão, presença de desordens neurológicas (AVC, neuropatias periféricas, patologias neurodegenerativas), pacientes com marcha coletadas em esteiras, sujeitos com artrite reumatoide, artigos que utilizaram parâmetros de marcha que não forem coletados por meio de sensores inerciais, pacientes com infecção de prótese e artigos que não forem publicados em uma revista.

Não foram impostas restrições relativas à data de realização do estudo, à gravidade da doença (avaliada pelo grau de Kellgren-Lawrence – KL), à lateralidade da osteoartrite (unilateral ou bilateral) ou ao tipo de OA (compartimento medial ou lateral). Dois revisores independentes e cegos (LPR e ATAM) realizarão a seleção dos títulos e resumos dos artigos. Qualquer discordância identificada na triagem será solucionada por um terceiro revisor (RBP). Em seguida, os manuscritos completos dos estudos que atenderem aos critérios de elegibilidade serão obtidos e verificados novamente pelos mesmos revisores (LPR, ATAM), sendo as divergências novamente resolvidas mediante consulta a um terceiro revisor (MMM).

4.3 Risco de Vieses

A qualidade metodológica (risco de viés) dos estudos incluídos foi avaliada por dois revisores independentes (MBM e EBS), por meio de uma versão adaptada da escala de Downs & Black (Anexo 3). A escolha desse instrumento baseou-se em sua aplicabilidade a estudos randomizados e não randomizados e em sua cobertura de domínios relevantes para delineamentos observacionais e para estudos de análise de marcha com sensores (qualidade do relato, validade interna/externa, vieses, confundidores e poder).

Devido à heterogeneidade esperada de protocolos, populações e processamento de sinais, foi utilizada uma versão reduzida composta por 10 itens, selecionados a priori por refletirem dimensões centrais nesse contexto: Item 3 (caracterização dos participantes), Item 5 (distribuição de confundidores), Item 7 (variabilidade aleatória), Item 11 (representatividade), Item 15 (cegamento do avaliador), Item 16 (análises não planejadas), Item 18 (adequação estatística), Item 20 (precisão/validade/confiabilidade do processo de mensuração e/ou

algoritmos), Item 22 (comparabilidade temporal no recrutamento) e Item 25 (ajuste para confundidores).

As pontuações foram atribuídas de forma independente; discordâncias foram resolvidas por consenso e, quando necessário, por terceiro avaliador. Os resultados foram apresentados por estudo e por item, e foram utilizados para qualificar a confiança na síntese (sem exclusão automática de estudos), considerando as limitações inerentes a delineamentos transversais.

4.4 Extração dos dados

A organização das referências e o gerenciamento dos registros recuperados foram realizados no Zotero (versão 2025). A ferramenta foi utilizada para armazenar as fontes, registrar anotações relacionadas aos dados extraídos e identificar/remover duplicatas por detecção automatizada baseada em metadados (título, autores e ano). Essa etapa assegurou a unicidade dos registros incluídos e aumentou a rastreabilidade do processo de triagem.

A extração de dados dos estudos elegíveis foi conduzida por dois revisores independentes (LPR e MMM), mediante formulário padronizado em planilha do Microsoft Excel. Os dados foram coletados sempre que disponíveis e organizados para permitir síntese descritiva dos métodos e dos desfechos.

Foram extraídas as seguintes informações: (i) identificação do estudo e objetivo; (ii) características da população e grupos (n, idade, sexo), incluindo, quando reportado, gravidade da osteoartrite (Kellgren–Lawrence), lateralidade (unilateral/bilateral) e tipo de prótese; (iii) desenho/condição avaliada (por exemplo, comparação com controles saudáveis ou comparação entre condições dentro do mesmo indivíduo quando aplicável ao delineamento transversal reportado); (iv) instrumentação (tipo de sensor inercial/dispositivo, número de unidades, posicionamento anatômico e especificações disponíveis); (v) protocolo experimental de avaliação (tarefa, ambiente e principais condições de coleta); e (vi) parâmetros de marcha e mobilidade reportados (incluindo medidas espaciotemporais e cinemáticas).

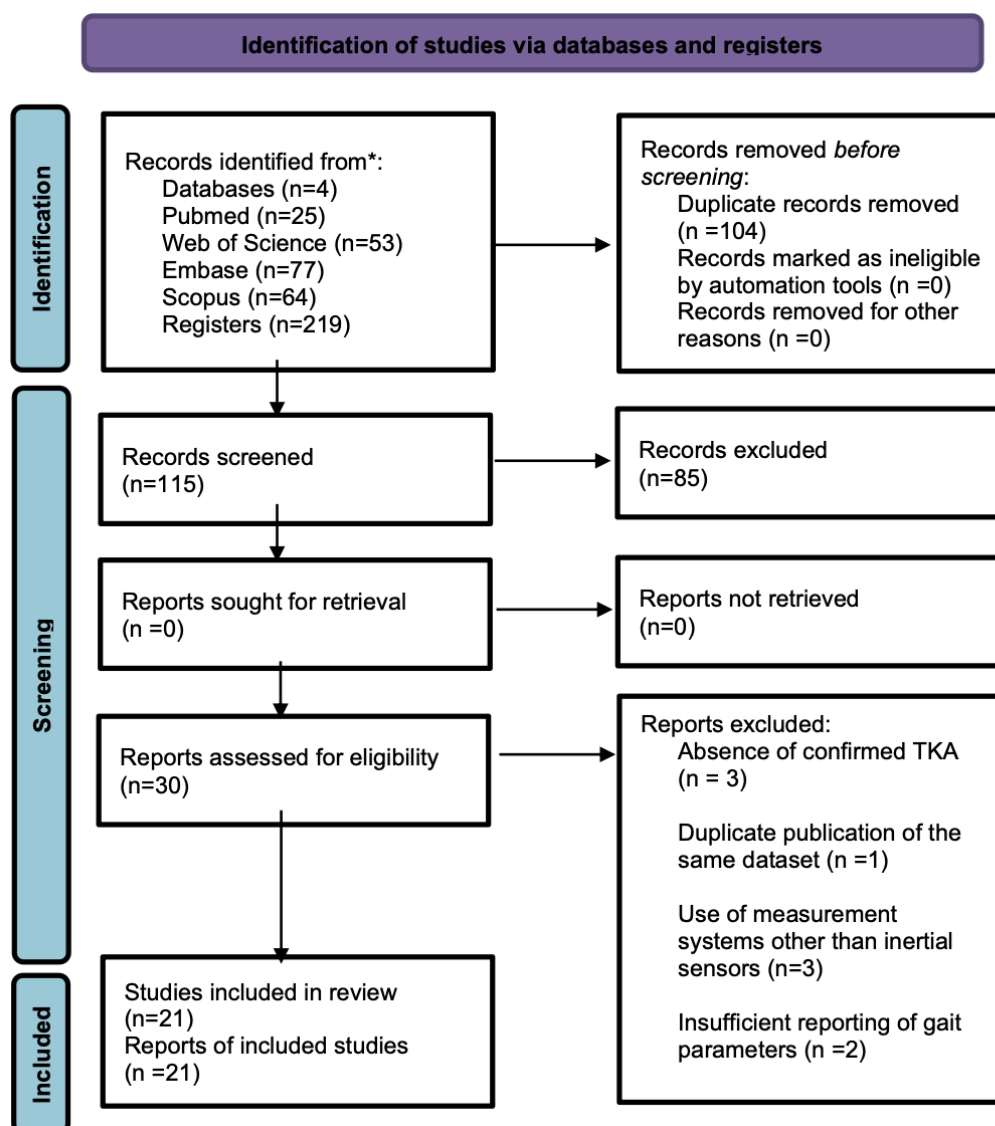
Eventuais divergências entre revisores foram resolvidas por consenso. Quando informações essenciais não estavam claramente descritas, os dados foram registrados como “não reportado” para manter a transparência e evitar inferências não suportadas pelos estudos.

5. RESULTADOS

5.1 Resultados da busca

O fluxograma PRISMA de estratégia de busca e inclusão é apresentado na Fig. 4. A partir de quatro bases de dados, foram identificados 219 artigos. Após a remoção de duplicatas, por meio do gerenciador de referência Zotero, permaneceram 115 artigos. A triagem de títulos e resumos excluiu 85 artigos. Nenhum artigo adicional relevante foi identificado e adicionado. O texto completo de 30 artigos foi avaliado, dos quais 21 atenderam a todos os critérios de inclusão (Fig. 4).

Figura 4 – Fluxograma Prisma *Workflow* de identificação da busca de artigos nas bases de dados Pubmed, Web of Science, Embase e Scopus datada de agosto de 2024.



5.2. Característica da População

As características dos estudos incluídos foram sintetizadas na Tabela 3. No conjunto dos 21 estudos transversais, a marcha/mobilidade foi avaliada em uma amostra cumulativa de 758 indivíduos submetidos à artroplastia do joelho por osteoartrite avançada. Um subconjunto de estudos incluiu controles saudáveis como grupos comparadores, totalizando aproximadamente 210 participantes.

A composição das amostras e a forma de caracterização dos grupos variaram entre os estudos, refletindo heterogeneidade clínica e metodológica. Quando presentes, os controles foram descritos como saudáveis e utilizados para comparação de desfechos de marcha e funcionalidade. Os critérios de definição/confirmação da osteoartrite e as características basais da população foram reportados de maneira variável entre os estudos e estão detalhados na Tabela 3.

A idade média dos controles variou de 56,9 anos (DP 8,3) até 63,4 anos entre os estudos, enquanto os indivíduos com OA ou pós-ATQ apresentaram média entre 65,1 anos (DP 7,7) e 69 anos (DP 10). Cinco estudos empregaram controles saudáveis devidamente pareados por idade e sexo, ao passo que outros quatro incluíram amostras de controle significativamente mais jovens.

5.3. Característica dos estudos incluídos

Ao longo dos 21 estudos incluídos, foram identificados quatorze sistemas distintos de sensores inerciais aplicados à avaliação da marcha em pacientes com osteoartrite do joelho e/ou no contexto pós-artroplastia. O local de fixação mais frequentemente reportado foi a região lombar/sacral ou a pelve.^{94,108} Montagens em esterno, coxa, perna e pés foram utilizadas em menor número de estudos, principalmente quando o objetivo foi capturar movimento segmentar e/ou variáveis articulares específicas.

A instrumentação variou de configurações com uma única unidade a arranjos multissensoriais (até 15 sensores), refletindo diferentes níveis de detalhamento cinemático. Em configurações de sensor único, a unidade foi tipicamente posicionada na região lombar, permitindo uma caracterização global e pragmática da marcha.^{94,99-102,104,106,109,110} Em contrapartida, estudos com múltiplos sensores distribuíram unidades entre pelve e segmentos dos membros inferiores, com o objetivo de ampliar a captura de variáveis espaciotemporais e cinemáticas.^{95-98,103,105,107,108,111-118} . Os procedimentos de processamento de sinais, detecção de

eventos de marcha e extração de parâmetros foram heterogêneos, com uso de softwares proprietários e/ou rotinas desenvolvidas pelos próprios autores, frequentemente com nível de detalhamento variável no relato.

Os protocolos de caminhada apresentaram heterogeneidade substancial. A estratégia mais comum foi a de deambulação em solo, em velocidade auto-selecionada, incluindo passarelas de 20 m.^{94,95,100,102,103,105,107,108} Outros estudos realizaram percursos em solo com distâncias distintas (6 m, 7 m, 10 m, 40 m ou não especificadas), geralmente por limitações de espaço/logística.^{96-99,101,106,111,115}

Duas investigações utilizaram avaliação em esteira, com velocidade ajustada ao ritmo confortável, com duração de 500 m¹¹² e 11 minutos,¹¹⁴ respectivamente. Além da marcha em linha reta, foram empregados circuitos ovais,^{98,107} caminhada contínua de 10 minutos em solo¹⁰⁹ e monitoramento em condições de vida livre no domicílio, com coleta contínua durante atividades diárias.^{101,110}

Os cenários de avaliação incluíram ambientes laboratoriais e contextos de campo/clinicidade. Parte dos estudos foi conduzida em laboratório e, quando aplicável, relatou comparação/validação com sistemas ópticos de captura de movimento.^{97,102,104,106,111,112,117} A maioria ocorreu fora de laboratórios tradicionais, incluindo corredores/pistas universitárias,^{98,107,110} ambientes clínicos/hospitalares^{94,95,96,98,100,103,105,107,114,115} e condições de vida livre no domicílio.^{101,110} Um estudo não especificou o local de teste.¹⁰⁸

5.4. Risco de Vieses

A avaliação metodológica pela escala de Downs & Black adaptada (Tabela 2) indicou qualidade global moderada. Todos os estudos descreveram de forma adequada as características dos participantes (item 3), e a maioria apresentou a distribuição de potenciais fatores de confusão (item 5) e estimativas de variabilidade aleatória (item 7). Em contrapartida, a validade externa mostrou-se limitada, com baixa representatividade das amostras em parcela relevante dos estudos (item 11).

Adicionalmente, a transparência sobre o desempenho/validação dos procedimentos de mensuração e dos algoritmos de processamento de sinais foi pouco reportada (item 20). O cegamento de avaliadores (item 15) e o ajuste para confundidores nas análises (item 25) também foram incomuns, e apenas um estudo descreveu recrutamento temporalmente comparável entre casos e controles (item 22) e tentativa explícita de cegamento. Em contraste,

os estudos, em geral, identificaram análises não planejadas (item 16) e utilizaram testes estatísticos apropriados aos dados (item 18).

Tabela 2 – Pontuação de cada artigo selecionado na escala Downs & Black seguindo os critérios válidos para o tipo de estudo desenvolvido em cada artigo

Artigo	Item 3	Item 5	Item 7	Item 11	Item 15	Item 16	Item 18	Item 20	Item 22	Item 25	Total
Tereso et al. 2015	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	7
Sato et al. 2024	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Emmerzaal et al. 2022	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	5
Huang et al. 2020	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Bolink et al. 2015	1	2	1	0	0	1	1	1	0	1	8
Bolink et al. 2012	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Calliess et al. 2014	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0	6
Rahman et al. 2015	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
De Vroey et al. 2018	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Roberts et al. 2013	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Kluge et al. 2018	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Chapman et al. 2018	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Renani et al. 2020	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Bolam et al. 2021	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Chapman et al. 2021	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	8
Lou et al. 2022	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Boekesteijn et al. 2022	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Misu et al. 2022	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Yeung et al. 2022	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
van de Ven et al. 2023	1	2	1	0	0	1	1	0	0	0	6
van de Ven et al. 2024	1	2	1	0	0	1	1	1	0	0	7
Piovan et al. 2024	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	6
Cornish et al. 2024	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	8
Schulze et al. 2012	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0	6

Fonte: elaborada pelos autores (2026)

No conjunto, esses achados apontaram risco de viés moderado, com fragilidades concentradas em generalização (validade externa), transparência dos algoritmos e controle de vieses de observação, devendo tais limitações moderar a interpretação da síntese.

5.5 Síntese dos resultados

De modo geral, os estudos incluídos relataram reduções consistentes em parâmetros espaciotemporais básicos após a artroplastia do joelho. Tereso et al. observaram menor velocidade de marcha em comparação a controles saudáveis, acompanhada de encurtamento do comprimento do passo e prolongamento da fase de apoio ($p < 0,05$).⁹⁴ Achados semelhantes foram descritos por Sato et al., com redução de cadência e aumento do tempo de duplo apoio em velocidade auto-selecionada,¹¹¹ e por Emmerzaal et al., inclusive em condições de marcha em ritmo acelerado.⁹⁵

Além dessas medidas centrais, alguns estudos reportaram aumento de variabilidade da marcha, particularmente no tempo entre passadas, sugerindo maior instabilidade dinâmica.^{112, 96, 97} Em termos de assimetria, Calliess et al. e Rahman et al. relataram diferenças inter-membros que permaneceram detectáveis mesmo após a reabilitação convencional, em avaliações realizadas em períodos pós-operatórios tardios.^{98,99}

No domínio cinemático, os estudos descreveram alterações compatíveis com restrição de amplitude e estratégias compensatórias. Kluge et al. relataram redução do pico de flexão do joelho durante o balanço e menor pico de extensão durante a fase de apoio (ambos $p < 0,01$), interpretados como possíveis marcadores de rigidez e/ou fraqueza periarticular.¹¹⁴

Chapman et al. também descreveram menor excursão sagital do joelho e redução da rotação tibial no plano transversal, com associação a medidas autorrelatadas de dor e função.¹⁰⁰ Renani et al. identificaram alterações no padrão pélvico (incluindo inclinação anterior aumentada e obliquidade lateral reduzida), sugerindo compensações envolvendo pelve e tronco para facilitar o avanço do membro.¹⁰¹ Bolam et al. e Chapman et al. reportaram acelerações tibiais máximas menores no lado operado, sugerindo alterações na absorção de impacto durante a marcha.^{115, 102}

Quanto às propriedades de mensuração, alguns estudos avaliaram validade e confiabilidade das IMUs no contexto pós-operatório. Lou et al. compararam ângulos do joelho estimados por IMUs com captura óptica de movimento, descrevendo erro angular médio $< 5^\circ$ e correlação elevada para flexão/extensão ($r > 0,9$).¹⁰³ Boekesteijn et al. e Misu et al. reportaram confiabilidade teste–reteste com coeficientes de correlação intraclass $> 0,85$ para métricas espaciotemporais.^{104, 105} Yeung et al. descreveram baixo viés entre sessões e

operadores (diferenças médias <2%),¹⁰⁶ e van de Ven et al. observaram manutenção da precisão mesmo com reposicionamento por diferentes examinadores.¹⁰⁷

Por fim, parte das investigações expandiu a análise para tarefas funcionais e monitoramento em contextos menos controlados. Van de Ven et al. quantificaram balanço lateral do corpo durante o sentar-levantar e relataram associação com tempos mais longos no teste Time Up and Go (TUG) e menor confiança no equilíbrio.¹⁰⁹ Piovan et al. avaliaram a negociação de escadas e observaram velocidades angulares reduzidas e alterações temporais em comparação a pares saudáveis.¹⁰⁸ Cornish et al. utilizaram monitoramento contínuo por vários dias e relataram que contagens diárias de passos e índices de simetria derivados de IMUs se associaram a satisfação e mobilidade percebida.¹¹⁰ Schulze et al. também descreveram correlações entre medidas acelerométricas e escalas clínicas (p. ex., WOMAC, KSS).¹¹⁶

Em conjunto, os estudos sustentaram a utilidade de sensores vestíveis para detectar alterações persistentes de marcha e complementar a avaliação clínica, embora a heterogeneidade de protocolos, posicionamento de sensores e processamento de sinais tenha limitado comparações diretas entre estudos.

Tabela 3 – Tabela contendo a análise dos estudos incluídos, identificando os artigos selecionados pela autoria e analisando os em população, tipo de sensor, localização do sensor, parâmetros analisados, protocolo e resultados observados no artigo em questão

Autor	População	Tipo de Sensor e Localização	Parâmetros Analisados	Protocolo	Resultados
YEUNG, S. et al. 2022	10 ATJ patients (7M, 3F; avg. age 69).	Uma IMU colocada na região anteromedial distal da tíbia.	Aceleração tibial máxima (impacto tibial), amplitude de movimento (ADM) de flexão do joelho, velocidade de marcha.	Testes de caminhada em esteira antes e 6 semanas após a cirurgia; coleta de dados fora do local.	Foi encontrada uma correlação linear entre o choque tibial e a força de reação do joelho. A maioria dos pacientes atingiu flexão máxima próxima do normal na 6ª semana, caminhando a 0,8-1,38 m/s.
PIOVAN, G. et al. 2024	77 pares correspondentes de pacientes submetidos a artroplastia unicompartmental medial do joelho (mUKA) (componentes com base metálica vs. componentes totalmente em polietileno).	Sistema Riablo™ (dispositivo baseado em IMU) fixado com faixas elásticas (localização implícita no membro inferior/tronco).	Oscilação postural estática, simetria da marcha, Teste TUG.	Execução de exercícios físicos prescritos e análise de movimento.	No acompanhamento de 5 anos, o grupo com prótese de metal (PM) apresentou oscilação postural estática superior (3,9 vs. 5,4 cm) e simetria da marcha (92,7% vs. 90,4%) em comparação ao grupo com prótese totalmente de polietileno (PE).

De VEN W. A F Van De Ven 2024	11 pacientes submetidos a ATJ vs. 11 controles saudáveis.	Um sensor inercial 3D sem fio (XSens MTw) colocado no meio do esterno (tronco).	Amplitude das excursões angulares (oscilação lateral do corpo) e entropia amostral (SEn) da oscilação lateral do corpo.	Caminhada em esteira a 70%, 100% e 130% da velocidade de caminhada confortável (VCC).	Antes da ATJ, os pacientes apresentavam maior oscilação e menores valores de SEn. Um ano após a ATJ, esses valores normalizaram para os níveis do grupo controle. O SEn correlacionou-se positivamente com os escores do teste de caminhada de seis minutos (TC6M) e do teste de caminhada de seis minutos (TC6M).
CORNISH B. et al. 2024	21 pacientes, um ano após ATJ.	IMUs (acelerômetro, giroscópio, magnetômetro) colocadas para medir a cinemática do joelho.	Cinemática do joelho (ângulos no plano sagital) e ADM.	Cinco tarefas: caminhada em superfície plana (em ritmo próprio), agachamento, levantar-se da posição sentada, subida de escadas e descida de escadas.	As IMUs apresentaram excelente correlação (>0,95) com a captura óptica de movimento para caminhada, agachamento e transição da posição sentada para a posição em pé (erro <6°), mas foram menos confiáveis para subida/descida de escadas (erro de ~12°).
van de Vem et al. 2023	11 pacientes submetidos a ATJ vs. 11 controles saudáveis.	Quatro sensores inerciais 3D sem fio (XSens MTw) colocados nas coxas e pernas.	Entropia amostral (SEn) e valores de frequência de pico da velocidade de rotação no plano sagital.	Caminhada em esteira (VCC determinada), além do teste de caminhada de 6 minutos (TC6M) e do TUG. Avaliação pré-ATJ e 3, 6 e 12 meses pós-ATJ.	Pacientes submetidos à ATJ apresentaram um aumento sistemático na sensibilidade do nó (SEn) ($p < 0,001$) e menor frequência de pico durante o período de recuperação de 12 meses.

BOEKESTEINJN R. et al. 2022	24 pacientes submetidos a ATJ, 24 pacientes submetidos a artroplastia total do quadril (ATQ) e 27 controles saudáveis.	Quatro sensores inerciais (Opal V2) colocados em ambos os pés, cintura e esterno.	Velocidade da marcha, comprimento da passada, cadência, assimetria do tempo de passo, variabilidade do tempo de passada, velocidade de giro, ADM lombar/do tronco.	Caminhada de ida e volta ao longo de uma trajetória de 6 metros (com giros de 180°) por 2 minutos em velocidade autoselecionada. Avaliação pré-operatória, 2 e 15 meses pós-operatória.	A cinemática do tronco melhorou precocemente (0-2 meses), enquanto os parâmetros espaço-temporais melhoraram posteriormente (2-15 meses). Aos 15 meses, todos os parâmetros da marcha retornaram aos níveis de controle.
LAU N. et al. 2022	10 pacientes submetidos a ATJ vs. 10 adultos saudáveis.	IMU vestível (acelerômetro/giroscópio MPU9250) montada na coxa e na perna. IMUs fixadas acima e abaixo do joelho.	ADM do joelho durante a flexão-extensão da marcha.	Avaliação da flexão-extensão ativa/passiva do joelho e atividades da marcha.	Sistema foi preciso (erro médio < 5°). Durante a marcha, a ADM média do joelho em indivíduos saudáveis foi de ~80°; pacientes submetidos à ATJ (variação de 45° a 90°) necessitaram de pelo menos 70° para caminhar normalmente.
CHAPMAN R. et al. 2021	10 pacientes submetidos a ATJ (idade média de 69 anos).	IMUs attached above and below the knee.	ADM contínua do joelho, ADM máxima, tempo de apoio/balanço, tempo de passada e variabilidade.	Captura contínua da ADM do joelho no pré e pós-operatório, diferenciando entre ambientes de fisioterapia (FT) e não fisioterapia.	ADM nas fases de apoio e balanço foi significativamente maior durante as sessões de fisioterapia em comparação com as atividades fora da fisioterapia.

BOLAM S. et al. 2021	14 pacientes após artroplastia primária do joelho.	Duas IMUs no tornozelo.	Carga de impacto, assimetria da carga de impacto entre os membros, mobilidade (Estímulo Ósseo), flexão máxima do joelho (durante a marcha, ao levantar da posição sentada).	Fluxo de trabalho de monitoramento remoto do paciente (MRP); IMUs utilizados por 8 a 10 horas durante as atividades diárias de rotina. Monitoramento semanal de 2 a 6 semanas após a cirurgia.	A assimetria da carga de impacto melhorou de -17,55 para -10,62 (da 2 ^a à 6 ^a semana), mas essa melhora não foi estatisticamente significativa. Os resultados relatados pelos pacientes (PROMs) melhoraram significativamente.
CHAPMAN R. et al. 2018	20 pacientes submetidos a ATJ vs. 10 controles saudáveis.	IMUs (acelerômetro, giroscópio, magnetômetro) utilizadas na perna afetada (coxa/perna).	Flexão do joelho (máxima, pico de apoio, pico de balanço) e flexão em eventos específicos da marcha (contato do calcanhar, apoio médio, etc.).	Monitoramento contínuo (8 a 12 horas diárias) por 1 semana antes da ATJ, 6 semanas após a ATJ e 1 semana 1 ano após a ATJ.	O método IMU apresentou forte concordância com o MOCAP (exceto no contato do calcanhar). A flexão da fase de apoio dos pacientes se recuperou rapidamente (igualando-se aos controles em 2 semanas), enquanto a flexão da fase de balanço levou mais tempo.
KLUGE F. et al. 2018	24 pacientes com osteoartrite do joelho (avaliados antes e 1 ano após ATJ).	Dois sensores Shimmer3 (acelerômetro, giroscópio) fixados em cada sapato.	Parâmetros espaço-temporais: velocidade da marcha, cadência, comprimento da passada, tempo da passada.	Teste padronizado de caminhada em solo plano de 4 × 10 m (com giros de 180°).	Apesar da melhora significativa nos PROMs, o desempenho global da marcha (tempo do teste de 4x10m) não melhorou após a cirurgia. Os parâmetros de marcha pré-operatórios puderam prever os resultados com 89% de precisão.
VROEY H. et al. 2018	16 pacientes submetidos a artroplastia do joelho.	IMUs (Xsens MTw) utilizando dados do giroscópio; montadas na tíbia anteromedial (perna).	Parâmetros temporais da marcha: tempo de ciclo (TC), tempo de apoio (TA) e tempo de balanço (TB).	Três testes de marcha em velocidade auto-selecionada ao longo de uma passarela de 6 metros.	Correlação boa a excelente (ICC > 0,91) e baixo erro (RMSE 0,036-0,055 s) entre os sistemas IMU e de câmera para parâmetros temporais.

RAHMAN J. et al. 2015	74 pacientes submetidos a ATJ (pré-operatório, 8 semanas, 52 semanas) e 29 controles.	IMUs (acelerômetro/girocópio) fixadas em cada coxa e perna.	ADM do joelho (balanço, apoio), ADM da coxa/perna (sagital, coronal), duração da passada.	Avaliação da marcha em ambiente clínico.	A marcha apresentou apenas uma ligeira melhora 12 meses após a cirurgia. A amplitude de flexão do joelho na fase de apoio foi o principal diferencial; 1/29 pacientes pré-operatórios apresentavam flexão normal na fase de apoio, melhorando para 9/28 no pós-operatório.
CALLIES T. et al. 2014	6 pacientes jovens e ativos (com idades entre 50 e 70 anos) submetidos a ATJ	Três sensores SHIMMER 2R (9 graus de liberdade) posicionados na junção lombossacral, na face lateral da coxa e na face medial da tibia.	Velocidade de caminhada/corrida, cadência, comprimento/simetria do passo, flexão máxima do joelho (durante caminhada, subida de escadas, transição da posição sentada para a posição em pé).	Caminhada de 100 metros (em ritmo auto-selecionado), subida de escadas e transferência de posição. Avaliação pré-operatória e 12 meses pós-operatória.	A velocidade máxima de corrida correlacionou-se bem com a satisfação do paciente. Melhorias mínimas foram observadas no tempo de subida de escadas ou na flexão do joelho durante a tarefa.
BOLINK S. et al. 2012	Pacientes com osteoartrite de joelho em estágio terminal (pré-ATJ) versus indivíduos saudáveis.	Um sensor inercial 3D (MicroStrain Inertia-Link) localizado na pélvis.	Espaço-temporais (velocidade, cadência, comprimento do passo, irregularidade), cinemáticos (amplitude de movimento do tronco/sagital, acelerações de pico), tempos de tarefa (marcha, transição da posição sentada para a posição em pé, equilíbrio).	Caminhada de 20 metros (velocidade preferida), levantar-se da posição sentada e subir em um bloco.	Os pacientes foram significativamente mais lentos em todas as tarefas. Apresentaram velocidade de caminhada mais lenta (0,85 vs 1,29 m/s), menor comprimento do passo (0,52 vs 0,69 m) e maior irregularidade no tempo do passo.

BOLINK S. et al. 2015	Pacientes com osteoartrite de quadril, pacientes com osteoartrite de joelho e 80 controles saudáveis	Um sensor inercial 3D (Microstrain Inertia Link) posicionado na parte dorsal da pélvis.	Espaço-temporais (cadência, comprimento do passo, velocidade), cinemáticos (amplitude de movimento da obliquidade pélvica, assimetria da obliquidade pélvica).	Caminhada livre em velocidade preferida em um corredor hospitalar.	Ambos os grupos com osteoartrite apresentaram menor amplitude de movimento da obliquidade pélvica do que os controles. Pacientes com osteoartrite do quadril apresentaram assimetria significativamente maior (32,2%) do que os controles (15,9%) e os pacientes com osteoartrite do joelho (16,1%).
SCHULZE M. et al. 2012	Not addressed (system validation study).	KINEMATICWEAR system: two sensor nodes (SHIMMER: accelerometer, gyroscope, magnetometer) attached to the thigh and shank.	Função da articulação do joelho (ângulo do joelho).	Caminhada de 15 metros em velocidades confortáveis, baixas e altas, escolhidas pelo próprio indivíduo.	Alta correlação (coeficiente 0,99) e baixo erro (RMSE 2,72) para as medições do ângulo do joelho em comparação com um sistema de captura de movimento.
HUANG Y. et al. 2020	35 indivíduos (com idades entre 20 e 85 anos), incluindo 8 pacientes submetidos a ATJ.	Módulo de hardware com acelerômetro e giroscópio triaxiais (localização implícita na perna).	Número de balanços, ângulo máximo de flexão do joelho, duração do treino.	Exercícios de reabilitação (flexão da perna) monitorados por um aplicativo de smartphone com elementos de gamificação.	O sistema contou os balanços com precisão (0 erros). Para pacientes submetidos à ATJ do joelho, o erro médio absoluto da amplitude de movimento em comparação com uma máquina de referência foi baixo (1,65°-3,27°).
EMMERZAAL J. et al. 2022	19 pacientes submetidos a ATJ versus 20 controles assintomáticos.	17 IMUs (Xsens) posicionadas nos pés, pernas, pélvis, esterno, braços e cabeça.	Ângulos articulares (coluna, quadril, joelho, tornozelo).	Caminhada em terreno plano, subida e descida de escadas (em ritmo próprio). Avaliação pré-operatória e em 6 semanas, 3, 6 e 12 meses após a ATJ.	Um modelo usando dados de sensores mostrou "normalização" (diminuição da probabilidade de pertencer à classe de ATJ ao longo do tempo. A saída do modelo correlacionou-se de forma moderada a forte com o funcionamento relatado pelo paciente.

SATO H. et al. 2024	11 joelhos (8 pacientes) submetidos a AUJ.	IMUs (localização não especificada, utilizadas para análise da marcha).	Impulso lateral (via velocidade angular em varo), alinhamento dos membros inferiores (FTA, HKA).	Análise da marcha (caminhada de 10 metros). Avaliação pré-operatória e >6 meses após a ATJ.	O impulso lateral (presente em 81,8% no pré-operatório) diminuiu para 55,6% no pós-operatório. A velocidade média de pico em varo melhorou (de 37,1°/s para 28,8°/s). Os escores clínicos (OKS, JOA) também melhoraram.
TERESO A. et al. 2023	11 elderly TKA patients (avg. age 67.3).	Dois sensores inerciais de 3 eixos (SMI MP6000): um no tornozelo da perna operada e outro no sacro (tronco).	Espaço-temporais (tempo da passada, fase de balanço/apoio, velocidade, cadência, comprimento do passo), postura, risco de queda.	Caminhada de 10 metros utilizando três dispositivos auxiliares (muletas, andador padrão e rollator). Avaliação em 5 e 15 dias após a cirurgia.	Observaram-se melhorias significativas na maioria dos parâmetros espaço-temporais entre o 5º e o 15º dia. O andador com apoio no tornozelo (RFS) proporcionou a marcha mais rápida e foi a que mais se aproximou de um padrão de caminhada natural

Fonte: elaborada pelos autores (2026)

6. DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática sintetizou as evidências de 21 estudos sobre o uso de sensores inerciais (IMUs) para avaliar a marcha em indivíduos com osteoartrite (OA) de joelho, incluindo o período pós-artroplastia total do joelho (ATJ). Os resultados demonstram de forma inequívoca que, apesar da eficácia da ATJ no alívio da dor, déficits funcionais e alterações biomecânicas na marcha persistem, diferenciando significativamente esses pacientes de controles saudáveis.

As alterações mais consistentes incluem a redução nos principais parâmetros espaço-temporais (velocidade, comprimento do passo, cadência), aumento do tempo de duplo apoio e da variabilidade da marcha, além de cinemática alterada, como amplitude de movimento reduzida no joelho e estratégias compensatórias no tronco e pelve. Um segundo pilar desta revisão é a confirmação da validade e confiabilidade da tecnologia de IMUs como ferramenta robusta para quantificar objetivamente essas alterações, tanto em ambientes controlados quanto ecológicos.

6.1. Comparação com a Literatura Existente e Contexto Teórico

A persistência de déficits observada nos resultados é atribuída a uma complexa interação de fatores neuromusculares residuais. A fraqueza persistente do quadríceps, por exemplo, é um achado comum, impactando a absorção de choque e o controle do joelho durante a fase de apoio, mesmo um ano após a cirurgia ¹¹⁸. Isso é frequentemente exacerbado pela inibição muscular artrogênica, um processo reflexo contínuo no qual a dor, o edema e o dano articular suprimem a ativação muscular, um fenômeno que pode não ser totalmente resolvido mesmo após a substituição da articulação ¹¹⁹. A meta-análise de McClelland et al. ¹²⁰ já havia consolidado esses achados, e sua revisão reforça essa base de evidências com dados de tecnologias mais recentes.

As estratégias compensatórias observadas, como a inclinação pélvica¹⁰¹, são uma manifestação de como o sistema nervoso central se adapta para proteger a articulação operada e manter a locomoção. No entanto, essas adaptações não são benignas. A literatura demonstra que a sobrecarga e as alterações cinemáticas no membro contralateral são um fator de risco significativo para o desenvolvimento ou progressão da OA nessa articulação ¹²¹. Da mesma forma, alterações no movimento do tronco e da pelve ("marcha em bloco") têm sido

associadas ao aumento do dispêndio energético e ao desenvolvimento de dor lombar crônica em pacientes pós-ATJ, criando uma cascata de morbidades ¹²².

A sua descoberta de variabilidade aumentada da marcha como marcador de instabilidade^{112, 96, 97} merece destaque. A marcha humana saudável é caracterizada por uma variabilidade ótima, não pela sua ausência. Contudo, a alta variabilidade, como a encontrada nos estudos incluídos, reflete uma deterioração no controle motor rítmico, provavelmente devido a um feedback proprioceptivo deficiente da articulação protética e à integração alterada de informações sensoriais pelo sistema nervoso central ¹²³. Esse déficit no controle dinâmico é um dos preditores mais fortes de risco de quedas em populações clínicas, tornando sua medição um aspecto crucial da avaliação funcional ¹²³.

A validação da tecnologia de IMUs ^{103, 107} é consistente com uma tendência maior na biomecânica de se mover para além do laboratório. Enquanto sistemas ópticos são o padrão-ouro em precisão, sua validade ecológica é limitada. A forte correlação reportada entre IMUs e sistemas ópticos apoia o uso de vestíveis para superar a dicotomia "o que um paciente *pode fazer*" (medido no laboratório) versus "o que um paciente *realmente faz*" (medido na vida diária). Estudos recentes enfatizam que o desempenho em laboratório frequentemente superestima a função no mundo real, e os IMUs são a principal ferramenta para preencher essa lacuna de conhecimento ¹²⁴.

6.2. Implicações Clínicas e para a Prática

O uso das escalas WOMAC e KSS são essenciais, mas sofrem efeitos de teto e da subjetividade do paciente. A sua revisão demonstra que os sensores inerciais fornecem biomarcadores de função objetivos e sensíveis à mudança, que podem revelar disfunções residuais mesmo em pacientes que relatam estar "satisfeitos"¹²⁵. Essa objetividade é fundamental para uma avaliação completa do sucesso cirúrgico.

A reabilitação pós-ATJ, geralmente, é prosseguida com protocolos genéricos para intervenções de precisão, sendo que a identificação de uma assimetria específica no tempo de apoio ou uma excursão limitada do joelho permite o direcionamento terapêutico. Além disso, os sensores inerciais podem ser usados em tempo real para fornecer biofeedback visual ou auditivo, permitindo que os pacientes "vejam" ou "ouçam" seus padrões de marcha e os corrija ativamente durante as sessões de terapia, acelerando o reaprendizado motor ¹²⁶.

Além da reabilitação, os dados da marcha coletados podem ser usados para estratificar o risco. Por exemplo, um paciente que exibe alta variabilidade e assimetria significativas 3 meses após a cirurgia pode ser sinalizado para um programa de reabilitação intensificado para mitigar o risco de quedas ou de insatisfação a longo prazo. Há um interesse crescente em usar esses parâmetros para prever resultados como o risco de revisão cirúrgica ou de dor crônica ¹²⁷.

Por fim, tem-se a capacidade de monitorar pacientes em casa e abrir novos modelos de cuidado. Os clínicos podem acompanhar a recuperação remotamente, ajustar recomendações com base em dados do mundo real e intervir precocemente se a contagem de passos diminuir ou se os índices de simetria piorarem, indicando um possível problema.

6.3. Contribuições

A síntese de 21 estudos transversais, com amostra cumulativa substancial, fortaleceu a consistência dos achados e aumentou a utilidade clínica da revisão ao descrever padrões recorrentes de alterações na marcha em indivíduos com osteoartrite de joelho e no contexto pós-artroplastia. Adicionalmente, a abordagem adotada — contemplando tanto a caracterização dos desfechos biomecânicos quanto a descrição das propriedades de mensuração (validade e confiabilidade) das IMUs — ampliou a aplicabilidade dos resultados para profissionais assistenciais e pesquisadores em tecnologia aplicada à reabilitação.

A avaliação sistemática da qualidade metodológica por instrumento estruturado (Downs & Black adaptado) acrescentou transparência ao processo e permitiu qualificar criticamente a base de evidências. Entretanto, os resultados dessa avaliação também evidenciaram limitações relevantes (por exemplo, validade externa, cegamento e relato de validação de algoritmos), as quais devem ser consideradas na interpretação e na generalização das conclusões.

6.4. Limitações do estudo

Apesar dos pontos fortes, as limitações refletem os desafios do campo. A heterogeneidade metodológica é a principal barreira. A diversidade de sensores, protocolos e algoritmos dificulta, senão impossibilita, a realização de uma meta-análise formal dos parâmetros da marcha, que seria o nível mais alto de evidência. Essa falta de padronização impede o estabelecimento de valores normativos ou de limiares clinicamente significativos para a população pós-ATJ.

A opacidade dos algoritmos é uma limitação crítica que merece ser enfatizada. Quando os algoritmos são tratados como "caixas-pretas", a ciência se torna menos reprodutível. Sem saber como um parâmetro como o "comprimento do passo" é definido e calculado, é impossível comparar verdadeiramente os resultados do Estudo A com os do Estudo B. Essa falta de transparência é uma barreira para a adoção clínica, pois os médicos hesitam em basear decisões em métricas que não compreendem totalmente.

Adicionalmente, a natureza predominantemente transversal da maioria dos estudos incluídos (comparando um grupo de pacientes com um grupo controle) oferece um retrato estático. Faltam dados sobre a trajetória de evolução da marcha desde o pré-operatório até a recuperação a longo prazo no mesmo indivíduo.

Dentre as lacunas encontradas, sugere-se que novas pesquisas sejam desenvolvidas, acerca dos seguintes aspectos; padronização de protocolos, algoritmos com a possibilidade de publicação de códigos e métodos de processamento em código aberto, estudos de larga escala com acompanhamento pré e pós-operatório e análise do custo-benefício prótese e manejo clínico com base nos parâmetros de marcha coletados.

7. CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática cumpriu o objetivo de caracterizar a utilização de sensores inerciais para a avaliação da mobilidade, função e marcha em pacientes submetidos à artroplastia unilateral total do joelho. A análise dos 21 estudos transversais incluídos demonstrou que esses dispositivos são amplamente empregados para quantificar um espectro de parâmetros funcionais e biomecânicos. Além disso, identificou-se que os parâmetros mais frequentemente coletados foram os espaço-temporais (como velocidade da marcha, cadência, comprimento do passo e duração das fases de apoio) e os cinemáticos (como ângulos articulares do joelho e movimentos compensatórios da pelve e do tronco).

Foram identificados diversos protocolos de execução ambulatorial, sendo o mais comum a caminhada em solo plano por distâncias curtas (e.g., 20 metros) em velocidade auto selecionada. No entanto, a revisão também revelou uma notável variabilidade, incluindo testes em esteira, circuitos e, de forma inovadora, o monitoramento contínuo em ambientes de vida livre, destacando a versatilidade da tecnologia. Contudo, não se identificou as variáveis biomecânicas em relação ao tipo de prótese, pois os estudos incluídos não realizaram essa estratificação em suas análises. Esta ausência constitui uma importante lacuna na literatura atual, indicando uma oportunidade clara para pesquisas futuras que investiguem se diferentes designs de implantes influenciam os desfechos biomecânicos da marcha medidos por sensores.

Portanto, os sensores inerciais são ferramentas validadas, versáteis e ricas em informações para a avaliação funcional pós-ATJ. Eles permitem uma caracterização objetiva e detalhada da marcha que transcende as avaliações clínicas tradicionais. Apesar da necessidade de maior padronização nos protocolos e de investigações sobre a influência do tipo de prótese, a tecnologia representa um recurso promissor e acessível para otimizar o monitoramento da reabilitação, personalizar intervenções e avaliar a mobilidade funcional em contextos clínicos e de vida real.

REFERÊNCIAS

1. Nikolova V, Prakova G. Degenerative joint diseases (osteoartrtrrosis) and quality of life. *Trakia Journal of Science*. 2018;16 (Suppl 1):180–183. doi:10.15547/tjs.2018.s.01.036. Available from: https://www.researchgate.net/publication/327334163_Degenerative_joint_diseases_osteoartrtrrosis_and_quality_of_life. Accessed 28 Aug 2024.
2. Olsen U. Advancing the understanding of preoperative factors and patient experiences related to pain and physical function after total knee arthroplasty [PhD thesis]. Oslo: University of Oslo; 2024. Available from: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/107150/PhD-Olsen-2024.pdf?sequence=1>. Accessed 28 Aug 2024.
3. Randall E. Exploring long-term patient satisfaction with total knee arthroplasty: a mixed methods study [Internet]. 2024 Nov 5. doi:10.14288/1.0441319. Available from: <http://hdl.handle.net/2429/87778>. Accessed 28 Aug 2024.
4. Heitkamp H, et al. Systematic reviews and quality assessment of patient-reported outcome measures for physical function in comparative effectiveness studies regarding acute postoperative pain after total knee arthroplasty—Do we need to start all over again? *Eur J Pain*. 2024 Apr 15. doi:10.1002/ejp.2272. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ejp.2272>. Accessed 28 Aug 2024.
5. Gianzina E, et al. Evaluation of gait recovery after total knee arthroplasty using wearable inertial sensors: a systematic review. *Knee*. 2023 Mar;41:190–203. doi:10.1016/j.knee.2023.01.006. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36724578/>. Accessed 28 Aug 2024.
6. Lo J, Chan L, Flynn S. A systematic review of the incidence, prevalence, costs, and activity/work limitations of amputation, osteoarthritis, rheumatoid arthritis, back pain, multiple sclerosis, spinal cord injury, stroke, and traumatic brain injury in the United States: a 2019 update. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020 Apr;102(1).
7. Pancotte J, et al. Osteoartrite: prevalência e presença de fatores associados em idosos ativos. *Rev Ciênc Méd Biol (Impr)*. 2017;40–44. Available from: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1349183>. Accessed 3 Jul 2024.
8. Coaccioli S, et al. Osteoarthritis: new insight on its pathophysiology. *J Clin Med*. 2022 Oct 12;11(20):6013. doi:10.3390/jcm11206013. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36294334/>. Accessed 3 Jul 2024.

9. Li H, et al. Burden of osteoarthritis in China, 1990–2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *Clin Rheumatol*. 2024 Jan 30;43(3):1189–1197. doi:10.1007/s10067-024-06885-9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38289570/>. Accessed 3 Jul 2024.
10. Tavares DRB, et al. Risk factors of pain, physical function, and health-related quality of life in elderly people with knee osteoarthritis: a cross-sectional study. *Heliyon*. 2020 Dec 1;6(12):e05723. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05723. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33376818/>. Accessed 3 Jul 2024.
11. Jang S, Lee K, Ju JH. Recent updates of diagnosis, pathophysiology, and treatment on osteoarthritis of the knee. *Int J Mol Sci*. 2021 Mar 5;22(5):2619. doi:10.3390/ijms22052619. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33807695/>. Accessed 3 Jul 2024.
12. Miettinen HJA, et al. Health-related quality of life after hip and knee arthroplasty operations. *Scand J Surg*. 2020 Aug 31;145749692095223. doi:10.1177/1457496920952232. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32862793/>. Accessed 3 Jul 2024.
13. Aquino DM, et al. Qualidade de vida de pacientes submetidos à artroplastia total primária de joelho. *Brazilian Journal of Development*. 2022 Oct 6;8(10):66030–66044. doi:10.34117/bjdv8n10-082. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Qualidade-de-vida-de-pacientes-submetidos-à-t-otal-Aquino-Vasconcelos/0929d8e73e952acca752dcd9470af6d4f9d0d383>. Accessed 3 Jul 2024.
14. Weng Q, et al. Global burden of early-onset osteoarthritis, 1990–2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019. *Ann Rheum Dis*. 2024 Mar 1. doi:10.1136/ard-2023-225324. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38429104/>. Accessed 3 Jul 2024.
15. Ching A, et al. Biopsychosocial, work-related, and environmental factors affecting work participation in people with osteoarthritis: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023 Jun 13;24(1):66. doi:10.1186/s12891-023-06612-6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37312111/>. Accessed 17 Jul 2024.
16. Ferreira RM. Non-pharmacological and non-surgical interventions for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Acta Reumatol Port*. 2019;44(3). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31356585/>. Accessed 17 Jul 2024.

17. Evans JT, et al. Obesity and revision surgery, mortality, and patient-reported outcomes after primary knee replacement surgery in the National Joint Registry: a UK cohort study. *PLoS Med.* 2021 Jul 16;18(7):e1003704. doi:10.1371/journal.pmed.1003704. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34270557/>. Accessed 17 Jul 2024.
18. Chen D, et al. Osteoarthritis: toward a comprehensive understanding of pathological mechanism. *Bone Res.* 2017 Jan 17;5(1):1–13. doi:10.1038/boneres.2016.44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28149655/>. Accessed 17 Jul 2024.
19. Feng R, et al. Mechanotransduction in subchondral bone microenvironment and targeted interventions for osteoarthritis. *Mechanobiology Med.* 2024 Feb 5;2(2):100043. doi:10.1016/j.mbm.2024.100043. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949907024000068>. Accessed 22 Jul 2024.
20. Faschingbauer M, et al. Cartilage survival of the knee strongly depends on malalignment: a survival analysis from the Osteoarthritis Initiative (OAI). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019 Mar 6;28(5):1346–1355. doi:10.1007/s00167-019-05434-1.
21. Mohajer B, et al. Role of thigh muscle changes in knee osteoarthritis outcomes: Osteoarthritis Initiative data. *Radiology.* 2022 Oct;305(1):169–178. doi:10.1148/radiol.212771. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35727152/>. Accessed 22 Jul 2024.
22. Li M, et al. Varus-valgus knee laxity is related to a higher risk of knee osteoarthritis incidence and structural progression: data from the Osteoarthritis Initiative. *Clin Rheumatol.* 2022 Jan 22;41(4):1013–1021. doi:10.1007/s10067-021-06015-9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35064422/>. Accessed 22 Jul 2024.
23. Casartelli N, et al. Is hip morphology a risk factor for developing hip osteoarthritis? A systematic review with meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2021 Sep;29(9):1252–1264. doi:10.1016/j.joca.2021.06.007. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34171473/>. Accessed 27 Jul 2024.
24. Melugin HP, et al. Risk factors for long-term hip osteoarthritis in patients with femoroacetabular impingement without surgical intervention. *Am J Sports Med.* 2020 Aug 21;48(12):2881–2886. doi:10.1177/0363546520949179. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32822223/>. Accessed 27 Jul 2024.
25. Nguyen M, et al. Moderate and high sport specialization level in ice hockey athletes is associated with symptomatic cam deformity. *Sports Health.* 2022 Sep 26;

- p.194173812211235. doi:10.1177/19417381221123528. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36164266/>. Accessed 27 Jul 2024.
26. Dong Y, et al. Evidence on risk factors for knee osteoarthritis in middle-older aged: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2023 Aug 29;18(1):? doi:10.1186/s13018-023-04089-6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37641050/>. Accessed 27 Jul 2024.
27. Economou A, et al. The role of adipokines between genders in the pathogenesis of osteoarthritis. *Int J Mol Sci.* 2024 Oct 9;25(19):10865. doi:10.3390/ijms251910865. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39409194/>. Accessed 7 Aug 2024.
28. Nakajima A, et al. Prevalence of patients with rheumatoid arthritis and age-stratified trends in clinical characteristics and treatment, based on the National Database of Health Insurance Claims and Specific Health Checkups of Japan. *Int J Rheum Dis.* 2020 Oct;23(12):1676–1684. doi:10.1111/1756-185X.13974. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33016574/>. Accessed 7 Aug 2024.
29. Cui A, et al. Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine.* 2020 Dec;29–30:100587. doi:10.1016/j.eclinm.2020.100587. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34505846/>. Accessed 7 Aug 2024.
30. Chang A, et al. The natural history of knee osteoarthritis pain experience and risk profiles. *J Pain.* 2023 Jul 11. doi:10.1016/j.jpain.2023.07.002. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2023.07.002>. Accessed 10 Nov 2024.
31. Hall M, et al. How does hip osteoarthritis differ from knee osteoarthritis? *Osteoarthritis Cartilage.* 2022 Jan;30(1):32–41. doi:10.1016/j.joca.2021.09.010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2021.09.010>. Accessed 10 Nov 2024.
32. Shi Y, et al. Involvement of TLRs/NF- κ B/ESE-1 signaling pathway in T-2 toxin-induced cartilage matrix degradation. *Environ Pollut.* 2024 Feb;342:123114. doi:10.1186/s13075-023-03214-4. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13075-023-03214-4>. Accessed 10 Nov 2024.
33. Giorgino R, et al. Knee osteoarthritis: epidemiology, pathogenesis, and mesenchymal stem cells: what else is new? An update. *Int J Mol Sci.* 2023 Jan;24(7):6405. doi:10.3390/ijms24076405. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijms24076405>. Accessed 10 Nov 2024.

34. Yao Q, et al. Osteoarthritis: pathogenic signaling pathways and therapeutic targets. *Signal Transduct Target Ther*. 2023 Feb 3;8(1):1–? doi:10.1038/s41392-023-01330-w. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01330-w>. Accessed 10 Nov 2024.
35. Aw NM-Y, et al. Impact of pain sensitisation on the quality of life of patients with knee osteoarthritis. *RMD Open*. 2022 Mar;8(1):e001938. doi:10.1136/rmdopen-2021-001938. Available from: <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2021-001938>. Accessed 10 Nov 2024.
36. Liu X, et al. Resatorvid alleviates experimental inflammatory TMJOA by restraining chondrocyte pyroptosis and synovial inflammation. *Arthritis Res Ther*. 2023;25(1):230. doi:10.1186/s13075-023-03214-4. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13075-023-03214-4>. Accessed 10 Nov 2024.
37. Hu W, et al. Microenvironment in subchondral bone: predominant regulator for the treatment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 2021 Apr;80(4):413–422. doi:10.1136/annrheumdis-2020-218089. Available from: <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2020-218089>. Accessed 10 Nov 2024.
38. Primorac D, et al. Knee osteoarthritis: a review of pathogenesis and state-of-the-art non-operative therapeutic considerations. *Genes*. 2020 Jul;11(8):854. doi:10.3390/genes11080854. Available from: <https://doi.org/10.3390/genes11080854>. Accessed 10 Nov 2024.
39. Ren Q, et al. C/EBP β : the structure, regulation, and its roles in inflammation-related diseases. *Biomed Pharmacother*. 2023 Dec;169:115938. doi:10.1016/j.biopha.2023.115938. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115938>. Accessed 10 Nov 2024.
40. Zhu S, Qu W, He C. Evaluation and management of knee osteoarthritis. *J Evid Based Med*. 2024 Jul 4. doi:10.1111/jebm.12627. Available from: <https://doi.org/10.1111/jebm.12627>. Accessed 10 Nov 2024.
41. Jang S, Lee K, Ju JH. Recent updates of diagnosis, pathophysiology, and treatment on osteoarthritis of the knee. *Int J Mol Sci*. 2021 Mar 5;22(5):2619. doi:10.3390/ijms22052619. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijms22052619>. Accessed 10 Nov 2024.
42. Lu H-I, Keogh A, Rossi S, Palermo E, Cappa P, Quinlan LR. Attenuative effects of platelet-rich plasma on 30 kDa fibronectin fragment-induced MMP-13 expression associated with TLR2 signaling in osteoarthritic chondrocytes and synovial fibroblasts. *J Clin Med*. 2021 Sep 29;10(19):4496. doi:10.3390/jcm10194496. Available from: <https://doi.org/10.3390/jcm10194496>. Accessed 10 Nov 2024.
43. Dainese P, et al. Association between knee inflammation and knee pain in patients with knee osteoarthritis: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage*. 2021 Dec.

- doi:10.1016/j.joca.2021.12.003. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2021.12.003>. Accessed 10 Nov 2024.
44. Liew J, et al. A scoping review of how early-stage knee osteoarthritis has been defined. *Osteoarthritis Cartilage*. 2023 Sep;31(9):1234–1241. doi:10.1016/j.joca.2023.04.015. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2023.04.015>. Accessed 10 Nov 2024.
45. Taheri S, et al. Changes of the subchondral bone microchannel network in early osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2023 Jan;31(1):49–59. doi:10.1016/j.joca.2022.10.002. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.10.002>. Accessed 10 Nov 2024.
46. Dunn R, et al. Risk scoring for time to end-stage knee osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020 Aug;28(8):1020–1029. doi:10.1016/j.joca.2019.12.013. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.12.013>. Accessed 10 Nov 2024.
47. Guido G, et al. Gut permeability and osteoarthritis, towards a mechanistic understanding of the pathogenesis: a systematic review. *Ann Med*. 2021 Dec;53(1):2380–2390. doi:10.1080/07853890.2021.1888045. Available from: <https://doi.org/10.1080/07853890.2021.1888045>. Accessed 10 Nov 2024.
48. Brophy R, Fillingham Y. AAOS Clinical Practice Guideline Summary: Management of Osteoarthritis of the Knee (Nonarthroplasty), Third Edition. *J Am Acad Orthop Surg*. 2022 May;30(9):e721–e729. doi:10.5435/JAAOS-D-21-01233. Available from: <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-21-01233>. Accessed 10 Nov 2024.
49. Heggli I, et al. The role of the complement system in disc degeneration and Modic changes. *JOR Spine*. 2024 Feb 2;7(1). doi:10.1002/jsp2.1312. Available from: <https://doi.org/10.1002/jsp2.1312>. Accessed 10 Nov 2024.
50. Güner D, Koçyiğit SE. An alternative treatment option in older adults with knee osteoarthritis. *Wien Klin Wochenschr*. 2023 Oct 20. doi:10.1007/s00508-023-02287-0. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00508-023-02287-0>. Accessed 10 Nov 2024.
51. Olsson S, et al. Automating classification of osteoarthritis according to Kellgren–Lawrence in the knee using deep learning in an unfiltered adult population. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 Oct 2;22(1). doi:10.1186/s12891-021-04722-7. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04722-7>. Accessed 10 Nov 2024.
52. Costa BRDA, et al. Effectiveness and safety of non-steroidal anti-inflammatory drugs and opioid treatment for knee and hip osteoarthritis: network meta-analysis. *BMJ*. 2021 Oct 12;375:n2321. doi:10.1136/bmj.n2321. Available from: <https://doi.org/10.1136/bmj.n2321>. Accessed 10 Nov 2024.

53. Daugaard CL, et al. The effects of weight loss on imaging outcomes in osteoarthritis of the hip or knee in people who are overweight or obese: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019 Nov. doi:10.1016/j.joca.2019.02.756. Available from: [https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584\(19\)30799-X/fulltext](https://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(19)30799-X/fulltext). Accessed 10 Nov 2024.
54. Gersing A, et al. Weight loss regimen in obese and overweight individuals is associated with reduced cartilage degeneration: 96-month data from the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019 Jun;27(6):863–870. doi:10.1016/j.joca.2019.01.018. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.01.018>. Accessed 10 Nov 2024.
55. Coppock J, et al. The effects of a 6-month weight loss intervention on physical function and serum biomarkers in older adults with and without osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage Open*. 2023 May 26;5(3):100376. doi:10.1016/j.ocarto.2023.100376. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ocarto.2023.100376>. Accessed 10 Nov 2024.
56. Raposo F, Ramos M, Cruz LA. Effects of exercise on knee osteoarthritis: a systematic review. *Musculoskelet Care*. 2021 Mar;19(4):399–435. doi:10.1002/msc.1538. Available from: <https://doi.org/10.1002/msc.1538>. Accessed 10 Nov 2024.
57. Akhtar M, et al. Patient-reported outcomes and factors impacting success of the periacetabular osteotomy. *Cureus*. 2023 Apr 9;15(4):e37320. doi:10.7759/cureus.37320. Available from: <https://doi.org/10.7759/cureus.37320>. Accessed 10 Nov 2024.
58. Ferreira G, et al. The effectiveness of hip arthroscopic surgery for the treatment of femoroacetabular impingement syndrome: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2021 Jan;24(1):21–29. doi:10.1016/j.jsams.2020.06.013. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.06.013>. Accessed 10 Nov 2024.
59. Jansen M, et al. Knee joint distraction as treatment for osteoarthritis results in clinical and structural benefit: a systematic review and meta-analysis of the limited number of studies and patients available. *Cartilage*. 2020 Jul;13(1 Suppl):1113S–1123S. doi:10.1177/1947603520942945. Available from: <https://doi.org/10.1177/1947603520942945>. Accessed 10 Nov 2024.
60. Zhang B, et al. Unicompartmental knee arthroplasty versus high tibial osteotomy for medial knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg*. 2023 Jan;31(1):102255362311628. doi:10.1177/10225536231162829. Available from: <https://doi.org/10.1177/10225536231162829>. Accessed 10 Nov 2024.

61. U.S. Food and Drug Administration. Guidance for the Content of Premarket Submissions for Software Contained in Medical Devices. Silver Spring (MD): FDA; 2005. Available from: <https://www.fda.gov/media/82562/download>. Accessed 10 Nov 2024.
62. Smith L, et al. The biomechanical and functional outcomes of autologous chondrocyte implantation for articular cartilage defects of the knee: a systematic review. *Knee*. 2023 Oct;44:31–42. doi:10.1016/j.knee.2023.07.004. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.07.004>. Accessed 10 Nov 2024.
63. Hannon CP, et al. 2023 American College of Rheumatology and American Association of Hip and Knee Surgeons clinical practice guideline for the optimal timing of elective hip or knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2023 Nov;38(11):2193–2201. doi:10.1016/j.arth.2023.09.003. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.arth.2023.09.003>. Accessed 10 Nov 2024.
64. van Egmond JC, Verburg H, Mathijssen NMC. Total knee arthroplasty in day surgery: an overview of the literature. *Orthop Surg*. 2018 Jun;10(3):235–241. doi:10.1111/os.12406. Available from: <https://doi.org/10.1111/os.12406>. Accessed 10 Nov 2024.
65. Orange GM, et al. Physical function following total knee arthroplasty for osteoarthritis: a longitudinal systematic review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2025 Jan;55(1):1–11. doi:10.2519/jospt.2024.12570. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39741451/>. Accessed 10 Nov 2024.
66. Wang C-C, et al. Factors influencing the decision to receive total knee replacement among patients with severe knee osteoarthritis under universal health insurance coverage. *Sci Rep*. 2024;14:30028. doi:10.1038/s41598-024-81852-7. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81852-7>. Accessed 10 Nov 2024.
67. Yu X, Zhuang R, Jin P. Evaluation of the efficacy after total knee arthroplasty by gait analysis in patients with knee osteoarthritis: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2024;19:612. doi:10.1186/s13018-024-05091-2. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39343975/>. Accessed 10 Nov 2024.
68. van de Ven WAF, et al. Inertial-sensor-based monitoring of sample entropy and peak frequency changes in treadmill walking during recovery after total knee arthroplasty. *Sensors (Basel)*. 2023 May 22;23(10):4968. doi:10.3390/s23104968. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37430890/>. Accessed 10 Nov 2024.
69. Batailler C, et al. Current role of intraoperative sensing technology in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021 Dec;141(12):2255–2265.

- doi:10.1007/s00402-021-04130-5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34427757/>. Accessed 10 Nov 2024.
70. Mengis N, et al. A novel sensor-based application for home-based rehabilitation can objectively measure postoperative outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Pers Med*. 2023 Sep 19;13(9):1398. doi:10.3390/jpm13091398. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37763164/>. Accessed 10 Nov 2024.
71. Hummer C, Huang Y, Sheehan B. Adherence to the OARSI recommendations for designing, conducting, and reporting of clinical trials in knee osteoarthritis: a targeted literature review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022 Feb 22;23(1):116. doi:10.1186/s12891-022-05116-z. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05116-z>. Accessed 10 Nov 2024.
72. Mourad C, Van de Berg B. Osteoarthritis of the hip: is radiography still needed? *Skeletal Radiol*. 2022 Dec 20. doi:10.1007/s00256-022-04270-8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00256-022-04270-8>. Accessed 10 Nov 2024.
73. Brejneboel M, et al. Interobserver agreement and performance of concurrent AI assistance for radiographic evaluation of knee osteoarthritis. *Radiology*. 2024 Jul 1;312(1):? doi:10.1148/radiol.233341. Available from: <https://doi.org/10.1148/radiol.233341>. Accessed 10 Nov 2024.
74. Karim RR, et al. DeepKneeExplainer: explainable knee osteoarthritis diagnosis from aradiographs and magnetic resonance imaging. *IEEE Access*. 2021;9:39757–39780. doi:10.1109/ACCESS.2021.3062493. Available from: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062493>. Accessed 10 Nov 2024.
75. Komarraju A, et al. Spectrum of common and uncommon causes of knee joint hyaline cartilage degeneration and their key imaging features. *Eur J Radiol*. 2020 Aug;129:109097. doi:10.1016/j.ejrad.2020.109097. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109097>. Accessed 10 Nov 2024.
76. Bowes MA, et al. Precision, reliability, and responsiveness of a novel automated quantification tool for cartilage thickness: data from the Osteoarthritis Initiative. *J Rheumatol*. 2019 Apr;47(2):282–289. doi:10.3899/jrheum.180541. Available from: <https://doi.org/10.3899/jrheum.180541>. Accessed 10 Nov 2024.
77. Ray A, et al. A comparison of quantitative and semi-quantitative methods for assessing cartilage status and change over time; data from the Osteoarthritis Initiative. *BMC Musculoskelet Disord*. 2025 Apr 29;26(1):426. doi:10.1186/s12891-025-08501-6. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08501-6>. Accessed 10 Nov 2024.

78. Brand PD; Campbell CO. In: Nascimento FG, translator. *Campbell's Operative Orthopaedics*. 8th ed. São Paulo: Manole; 1996. p.955–1056.
79. Hangaard S, et al. Do Ahlbäck scores identify subgroups with different magnitudes of cartilage thickness loss in patients with moderate to severe radiographic osteoarthritis? *Skeletal Radiol*. 2021 Aug 4;51(4):777–782. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.110955. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.110955>. Accessed 10 Nov 2024.
80. Eckstein F, et al. 30 years of MRI-based cartilage & bone morphometry in knee osteoarthritis: from correlation to clinical trials. *Osteoarthritis Cartilage*. 2024 Feb 6;32(4):439–451. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.110955. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.110955>. Accessed 10 Nov 2024.
81. Macri E, et al. Can MRI-defined osteoarthritis features explain anterior knee pain in individuals with, or at risk for, knee osteoarthritis? The MOST Study. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2021 Mar 25. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.110955. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.110955>. Accessed 10 Nov 2024.
82. Schmaranzer F, et al. Automatic MRI-based three-dimensional models of hip cartilage provide improved morphologic and biochemical analysis. *J Biomech*. 2019 Apr 17;477(5):1036–1052. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.110955. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.110955>. Accessed 10 Nov 2024.
83. Bischofberger A, et al. Ex vivo validation of delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging (dGEMRIC) and T2 mapping for quantifying cartilage thickness in normal and naturally occurred osteoarthritic distal interphalangeal joints using a high-field MRI. *Pferdeheilkunde Equine Med*. 2023;39(2):158–167. doi:10.21836/pem20230205. Available from: <https://doi.org/10.21836/pem20230205>. Accessed 10 Nov 2024.
84. Atkinson H, et al. MRI T2 and T1ρ relaxation in patients at risk for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019 May 1;20(1):? Available from: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2547-7>. Accessed 10 Nov 2024.
85. Mendes JOH, et al. Evaluation of mental maturity and right-left orientation and correlations with gait and balance in children with Autism Spectrum Disorder: preliminary study. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*. 2023;16(9):15787–15808. doi:10.55905/revconv.16n.9-120. Available from: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.9-120>. Accessed 10 Nov 2024.
86. Casarin RL. *Desenvolvimento e validação de sensor inercial para análise biomecânica [dissertação]*. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2018.

87. Lang CE, et al. Implementation of wearable sensing technology for movement: pushing forward into the routine physical rehabilitation care field. *Sensors (Basel)*. 2020;20(20):5744. doi:10.3390/s20205744. Available from: <https://doi.org/10.3390/s20205744>. Accessed 10 Nov 2024.
88. Mengis N, et al. A novel sensor-based application for home-based rehabilitation can objectively measure postoperative outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Pers Med*. 2023;13(9):1398. doi:10.3390/jpm13091398. Available from: <https://doi.org/10.3390/jpm13091398>. Accessed 10 Nov 2024.
89. Biomechanix. G-WALK Motion Test. Available from: <https://www.biomechanix.co.uk/G-WALK-Motion-Test-i55>. Accessed 10 Nov 2024.
90. Taborri J, et al. A new method for gait-phases detection based on a single inertial sensor. In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Milan, Italy: IEEE; 2015. p.7338–7341.
91. Poitras I, et al. Validity and reliability of wearable sensors for joint angle estimation: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2019;19(7):1555. doi:10.3390/s19071555. Available from: <https://doi.org/10.3390/s19071555>. Accessed 10 Nov 2024.
92. Wang J, et al. Validity and test-retest reliability of inertial measurement units in gait, static balance and functional mobility performance in community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur Rev Aging Phys Act*. 2024;21(1):5. doi:10.1186/s11556-024-00512-3. Available from: <https://doi.org/10.1186/s11556-024-00512-3>. Accessed 10 Nov 2024.
93. Al-Amri M, et al. Inertial Measurement Units for clinical movement analysis: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2018;18(3):781. doi:10.3390/s18030781. Available from: <https://doi.org/10.3390/s18030781>. Accessed 10 Nov 2024.
94. Tereso A, Martins MM, Santos CP. Evaluation of gait performance of knee osteoarthritis patients after total knee arthroplasty with different assistive devices. *Res Biomed Eng*. 2015 Jul;31(3):208–217. Available from: <https://doi.org/10.1590/2446-4740.0729>. Accessed 10 Nov 2024.
95. Emmerzaal J, et al. Can the output of a learned classification model monitor a person's functional recovery status post-total knee arthroplasty? *Sensors (Basel)*. 2022;22(10):3698. doi:10.3390/s22103698. Available from: <https://doi.org/10.3390/s22103698>. Accessed 10 Nov 2024.

96. Bolink SA, et al. Frontal plane pelvic motion during gait captures hip osteoarthritis related disability. *Hip Int.* 2015 Sep–Oct;25(5):413–419. doi:10.5301/hipint.5000282. Accessed 10 Nov 2024.
97. Bolink SA, et al. Inertial sensor motion analysis of gait, sit-stand transfers and step-up transfers: differentiating knee patients from healthy controls. *Physiol Meas.* 2012 Nov;33(11):1947–1958. doi:10.1088/0967-3334/33/11/1947. Accessed 10 Nov 2024.
98. Calliess T, et al. Clinical evaluation of a mobile sensor-based gait analysis method for outcome measurement after knee arthroplasty. *Sensors (Basel).* 2014;14(9):15953–15964. doi:10.3390/s140915953. Accessed 10 Nov 2024.
99. De Vroey H, et al. The implementation of inertial sensors for the assessment of temporal parameters of gait in the knee arthroplasty population. *Clin Biomech.* 2018 May;54:22–27. doi:10.1016/j.clinbiomech.2018.03.002. Accessed 10 Nov 2024.
100. Chapman RM, Moschetti WE, Van Citters DW. Stance and swing phase knee flexion recover at different rates following total knee arthroplasty: an inertial measurement unit study. *J Biomech.* 2019;84:129–137. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.12.027. Accessed 10 Nov 2024.
101. Sharifi Renani M, Myers CA, Zandie R, Mahoor MH, Davidson BS, Clary CW. Deep learning in gait parameter prediction for OA and TKA patients wearing IMU sensors. *Sensors (Basel).* 2020;20(19):5553. doi:10.3390/s20195553. Accessed 10 Nov 2024.
102. Chapman RM, Moschetti WE, Van Citters DW. Is clinically measured knee range of motion after total knee arthroplasty ‘good enough?’: a feasibility study using wearable inertial measurement units to compare knee range of motion captured during physical therapy versus at home. *Med Novel Technol Devices.* 2021;11:100085. doi:10.1016/j.medntd.2021.100085. Accessed 10 Nov 2024.
103. Lou N, Diao Y, Chen Q, Ning Y, Li G, Liang S, et al. A portable wearable inertial system for rehabilitation monitoring and evaluation of patients with total knee replacement. *Front Neurobot.* 2022;16:836184. doi:10.3389/fnbot.2022.836184. Accessed 10 Nov 2024.
104. Boekesteijn R, Smolders J, Busch V, Keijsers N, Geurts A, Smulders K. Objective monitoring of functional recovery after total knee and hip arthroplasty using sensor-derived gait measures. *PeerJ.* 2022;10:e14054. doi:10.7717/peerj.14054. Accessed 10 Nov 2024.
105. Misu S, Asai T, Sakai H, Nishiguchi S, Fuse K. Usefulness of gait parameters obtained from inertial sensors attached to the lower trunk and foot for assessment of gait performance in the early postoperative period after total knee arthroplasty. *Knee.* 2022;37:143–152. doi:10.1016/j.knee.2022.06.005. Accessed 10 Nov 2024.

106. Yeung S, Kim HK, Carleton A, Munro J, Ferguson D, Monk AP, et al. Integrating wearables and modelling for monitoring rehabilitation following total knee joint replacement. *Comput Methods Programs Biomed.* 2022;225:107063. doi:10.1016/j.cmpb.2022.107063. Accessed 10 Nov 2024.
107. van de Ven WAF, Bosga J, Hullegie W, Verra WC, Meulenbroek RGJ. Inertial-sensor-based monitoring of sample entropy and peak frequency changes in treadmill walking during recovery after total knee arthroplasty. *Sensors (Basel).* 2023;23(10):4968. doi:10.3390/s23104968. Accessed 10 Nov 2024.
108. Piovan G, De Berardinis L, Screpis D, et al. Metal-backed or all-poly tibial components: which are better for medial unicompartmental knee arthroplasty? A propensity-score-matching retrospective study at the 5-year follow-up. *J Orthop Traumatol.* 2024;25:24. doi:10.1186/s10195-024-00765-3. Accessed 10 Nov 2024.
109. van de Ven WAF, Bosga J, Hullegie W, Verra WC, Meulenbroek RGJ. Exploratory study of the lateral body sway predictability as frame of reference for gait rehabilitation following a total knee arthroplasty. *Knee.* 2024;49:192–200. doi:10.1016/j.knee.2024.07.008. Accessed 10 Nov 2024.
110. Ornish BM, Diamond LE, Saxby DJ, Lloyd DG, Shi B, Lyon J, et al. Sagittal plane knee kinematics can be measured during activities of daily living following total knee arthroplasty with two IMU. *PLoS ONE.* 2024;19(2):e0297899. doi:10.1371/journal.pone.0297899. Accessed 10 Nov 2024.
111. Sato H, Kijima H, Iwami T, Tsukamoto H, Saito H, Kudo D, et al. Unicompartmental knee arthroplasty for osteoarthritis eliminates lateral thrust: associations between lateral thrust detected by inertial measurement units and clinical outcomes. *Sensors (Basel).* 2024;24(7):2019. doi:10.3390/s24072019. Accessed 10 Nov 2024.
112. Huang YP, Liu YY, Hsu WH, Lai LJ, Lee MS. Monitoring and assessment of rehabilitation progress on range of motion after total knee replacement by sensor-based system. *Sensors (Basel).* 2020;20(6):1703. doi:10.3390/s20061703. Accessed 10 Nov 2024.
113. Rahman J, Tang Q, Monda M, et al. Gait assessment as a functional outcome measure in total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:66. doi:10.1186/s12891-015-0525-2. Accessed 10 Nov 2024.
114. Kluge F, Hannink J, Pasluosta C, Klucken J, Gaßner H, Gelse K, et al. Pre-operative sensor-based gait parameters predict functional outcome after total knee arthroplasty. *Gait Posture.* 2018;66:194–200. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.08.026. Accessed 10 Nov 2024.

115. Bolam SM, Batinica B, Yeung TC, Weaver S, Cantamessa A, Vanderboor TC, et al. Remote patient monitoring with wearable sensors following knee arthroplasty. *Sensors (Basel)*. 2021;21(15):5143. doi:10.3390/s21155143. Accessed 10 Nov 2024.
116. Schulze M, Calliess T, Gietzelt M, Wolf KH, Liu TH, Seehaus F, et al. Development and clinical validation of an unobtrusive ambulatory knee function monitoring system with inertial 9DoF sensors. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:1968–1971. doi:10.1109/EMBC.2012.6346341. Accessed 10 Nov 2024.
117. Roberts D, Khan H, Kim JH, Slover J, Walker PS. Acceleration-based joint stability parameters for total knee arthroplasty that correspond with patient-reported instability. *Proc Inst Mech Eng H*. 2013 Oct;227(10):1104–1113. doi:10.1177/0954411913493724. Accessed 10 Nov 2024.
118. Mizner RL, Petterson SC, Stevens JE, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Preoperative quadriceps strength and biological markers of muscle atrophy predict postoperative physical function in patients with total knee arthroplasty. *J Rheumatol*. 2005 Aug;32(8):1536–1543.
119. Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: a painful reality. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2010 Jun;10(2):114–125.
120. McClelland JA, Webster KE, Feller JA, Menz HB. A hierarchical model of gait impairments in people with knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2013 Oct;38(4):596–601. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.03.019. Accessed 10 Nov 2024.
121. Felson DT, Niu J, McClennan C, Sack B, Aliabadi P, Hunter DJ, et al. The effects of recreational physical activities on the development of knee osteoarthritis in older adults of different weights: the Framingham Study. *Arthritis Rheum*. 2007 May;57(4):629–636. doi:10.1002/art.22679. Accessed 10 Nov 2024.
122. Keisu KS, O'Reilly R, Keisu M, Salo P, Ratto K. Association of low back pain with the outcomes of total knee and hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2016 Oct;50:128–136. doi:10.1016/j.gaitpost.2016.08.008. Accessed 10 Nov 2024.
123. Shakoor N, Foucher KC, Wimmer MA, Mikell CB, Fogg LF, Block JA. Impaired proprioception and its relationship to gait and falls in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2008 Dec;59(12):1741–1748. doi:10.1002/art.24255. Accessed 10 Nov 2024.
124. Kluge F, Gaßner H, Hannink J, Pasluosta C, Klucken J, Eskofier BM. Towards mobile gait analysis in clinical practice: a narrative review of sensor-based gait analysis systems. *J Neuroeng Rehabil*. 2021 May;18(1):68. doi:10.1186/s12984-021-00868-9. Accessed 10 Nov 2024.

125. Greene ME, McNamara EA, Smith-Stephens CL, Richardson L, Collins JE, Losina E, et al. Discordance between patient-reported and performance-based function in knee osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2018 Jan;70(1):66–74. doi:10.1002/acr.23278. Accessed 10 Nov 2024.
126. Levinger P, Lightfoot E, Nagano H, Downie C, Begg R, Marsden J, et al. Are we walking the walk? The state of the evidence for the use of real-time biofeedback to improve gait in people with knee osteoarthritis: a systematic literature review. *Gait Posture*. 2020 Jan;75:81–91. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.10.031. Accessed 10 Nov 2024.
127. Laende R, Aas E, Olsen T, Aamodt A, Reilingh ML, Lian OB. The association between gait parameters and patient-reported outcome after total knee arthroplasty: a systematic review. *Gait Posture*. 2020 Sep;81:226–236. doi:10.1016/j.gaitpost.2020.05.030. Accessed 10 Nov 2024.

ANEXOS

ANEXO A - ESCALA DE DOWNS & BLACK

Checklist for measuring study quality

Reporting

1. Is the hypothesis/aim/objective of the study clearly described?
yes 1
no 0

2. Are the main outcomes to be measured clearly described in the Introduction or Methods section?
If the main outcomes are first mentioned in the Results section, the question should be answered no.
yes 1
no 0

3. Are the characteristics of the patients included in the study clearly described?
In cohort studies and trials, inclusion and/or exclusion criteria should be given. In case-control studies, a case-definition and the source for controls should be given.
yes 1
no 0

4. Are the interventions of interest clearly described?
Treatments and placebo (where relevant) that are to be compared should be clearly described.
yes 1
no 0

5. Are the distributions of principal confounders in each group of subjects to be compared clearly described?
A list of principal confounders is provided.
yes 2

partially 1

no 0

6. Are the main findings of the study clearly described?

Simple outcome data (including denominators and numerators) should be reported for all major findings so that the reader can check the major analyses and conclusions.

(This question does not cover statistical tests which are considered below).

yes 1

no 0

7. Does the study provide estimates of the random variability in the data for the main outcomes?

In non-normally distributed data the inter-quartile range of results should be reported.

In normally distributed data the standard error, standard deviation or confidence intervals should be reported. If the distribution of the data is not described, it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered

yes.

yes 1

no 0

8. Have all important adverse events that may be a consequence of the intervention been reported?

This should be answered yes if the study demonstrates that there was a comprehensive attempt to measure adverse events. (A list of possible adverse events is provided).

yes 1

no 0

9. Have the characteristics of patients lost to follow-up been described?

This should be answered yes where there were no losses to follow-up or where losses to follow-up were so small that findings would be unaffected by their inclusion. This should be answered no where a study does not report the number of patients lost to follow-up.

yes 1

no 0

10. Have actual probability values been reported (e.g. 0.035 rather than <0.05) for the main outcomes except where the probability value is less than 0.001?

yes 1

no 0

External validity

All the following criteria attempt to address the representativeness of the findings of the study and whether they may be generalised to the population from which the study subjects were derived.

11. Were the subjects asked to participate in the study representative of the entire population from which they were recruited?

The study must identify the source population for patients and describe how the patients were selected. Patients would be representative if they comprised the entire source population, an unselected sample of consecutive patients, or a random sample. Random sampling is only feasible where a list of all members of the relevant population exists. Where a study does not report the proportion of the source population from which the patients are derived, the question should be answered as unable to determine.

yes 1

no 0

unable to determine 0

12. Were those subjects who were prepared to participate representative of the entire population from which they were recruited?

The proportion of those asked who agreed should be stated. Validation that the sample was representative would include demonstrating that the distribution of the main confounding factors was the same in the study sample and the source population.

yes 1

no 0

unable to determine 0

13. Were the staff, places, and facilities where the patients were treated, representative of the treatment the majority of patients receive?

For the question to be answered yes the study should demonstrate that the intervention was representative of that in use in the source population. The question should be answered no if, for example, the intervention was undertaken in a specialist centre unrepresentative of the hospitals most of the source population would attend.

yes 1

no 0

unable to determine 0

Internal validity – bias

14. Was an attempt made to blind study subjects to the intervention they have received?

For studies where the patients would have no way of knowing which intervention they received, this should be answered yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

1. Was an attempt made to blind those measuring the main outcomes of the intervention?

yes 1

no 0

unable to determine 0

2. If any of the results of the study were based on “data dredging”, was this made clear? Any analyses that had not been planned at the outset of the study should be clearly indicated. If no retrospective unplanned subgroup analyses were reported, then answer yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

3. In trials and cohort studies, do the analyses adjust for different lengths of follow-up of patients, or in case-control studies, is the time period between the intervention and outcome the same for cases and controls?

Where follow-up was the same for all study patients the answer should be yes. If different lengths of follow-up were adjusted for by, for example, survival analysis the answer should be yes. Studies where differences in follow-up are ignored should be answered no.

yes 1

no 0

unable to determine 0

4. Were the statistical tests used to assess the main outcomes appropriate?

The statistical techniques used must be appropriate to the data. For example non-parametric methods should be used for small sample sizes. Where little statistical analysis has been undertaken but where there is no evidence of bias, the question should be answered yes. If the distribution of the data (normal or not) is not described it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

5. Was compliance with the intervention(s) reliable?

Where there was non-compliance with the allocated treatment or where there was contamination of one group, the question should be answered no. For studies where the effect of any misclassification was likely to bias any association to the null, the question should be answered yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

6. Were the main outcome measures used accurate (valid and reliable)?

For studies where the outcome measures are clearly described, the question should be answered yes. For studies which refer to other work or that demonstrates the outcome measures are accurate, the question should be answered as yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

Internal validity – confounding (selection bias)

21. Were the patients in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited from the same population? For example, patients for all comparison groups should be selected from the same hospital. The question should be answered unable to determine for cohort and case-control studies where there is no information concerning the source of patients included in the study.

yes 1

no 0

unable to determine 0

15. Were study subjects in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited over the same period of time? For a study which does not specify the time period over which patients were recruited, the question should be answered as unable to determine.

yes 1

no 0

unable to determine 0

16. Were study subjects randomised to intervention groups?

Studies which state that subjects were randomised should be answered yes except where method of randomisation would not ensure random allocation. For example alternate allocation would score no because it is predictable.

yes 1

no 0

unable to determine 0

17. Was the randomised intervention assignment concealed from both patients and health care staff until recruitment was complete and irrevocable?

All non-randomised studies should be answered no. If assignment was concealed from

patients but not from staff, it should be answered no.

yes 1

no 0

unable to determine 0

18. Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which the main findings were drawn?

This question should be answered no for trials if: the main conclusions of the study were based on analyses of treatment rather than intention to treat; the distribution of known confounders in the different treatment groups was not described; or the distribution of known confounders differed between the treatment groups but was not taken into account in the analyses. In non-randomised studies if the effect of the main confounders was not investigated or confounding was demonstrated but no adjustment was made in the final analyses the question should be answered as no.

yes 1

no 0

unable to determine 0

19. Were losses of patients to follow-up taken into account?

If the numbers of patients lost to follow-up are not reported, the question should be answered as unable to determine. If the proportion lost to follow-up was too small to affect the main findings, the question should be answered yes.

yes 1

no 0

unable to determine 0

Power

27. Did the study have sufficient power to detect a clinically important effect where the probability value for a difference being due to chance is less than 5%?

Sample sizes have been calculated to detect a difference of x% and y%.

Size of smallest intervention group

A $< n_1$ 0

B $n_1 - n_2$ 1

C n_3-n_4 2

D n_5-n_6 3

E n_7-n_8 4

F n_8+ 5

ANEXO B - REGISTRO PROSPERO

PROSPERO

18/03/2025, 18:03

NIHR | National Institute for Health and Care Research **PROSPERO** International prospective register of systematic reviews

The use of inertial sensors in the rehabilitation of patients undergoing knee arthroplasty: a systematic review

Leonardo Pinheiro Rezende, Enzo Boaventura Sandes, Adryan Tyrone Alves de Moraes, Rodolfo Borges Parreira, Matheus Maciel Machado, Mariana Bessa Marinho, Andrei Machado Viegas da Trindade, Cláudia Santos Oliveira, Veronica Cimolin

Citation

Leonardo Pinheiro Rezende, Enzo Boaventura Sandes, Adryan Tyrone Alves de Moraes, Rodolfo Borges Parreira, Matheus Maciel Machado, Mariana Bessa Marinho, Andrei Machado Viegas da Trindade, Cláudia Santos Oliveira, Veronica Cimolin. The use of inertial sensors in the rehabilitation of patients undergoing knee arthroplasty: a systematic review. PROSPERO 2025 CRD420251002284. Available from <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/view/CRD420251002284>.

REVIEW TITLE AND BASIC DETAILS

Review title

The use of inertial sensors in the rehabilitation of patients undergoing knee arthroplasty: a systematic review

Condition or domain being studied

Sensory Testing; Total Arthroplasty Of Knee, Geomedic Or Polycentric; Functional Rehabilitation

Rationale for the review

Knee osteoarthritis (OA), one of the main causes of chronic pain and functional limitation in the elderly, has become more prevalent due to an aging population and an increase in risk factors such as obesity. Knee arthroplasty emerges as an effective surgical solution for advanced cases, but the success of the procedure depends on adequate rehabilitation and precise motor evaluations. In this regard, inertial sensors stand out as a promising tool, providing objective data on biomechanical parameters, such as flexion, posture, execution time, and movement speed, enabling the early identification of abnormal patterns and the adoption of more assertive interventions. Furthermore, this research examines how different types of prostheses may

influence gait biomechanics, highlighting the importance of selecting devices suited to the individual characteristics of each patient. By combining the use of inertial sensors with a solid methodological approach, it becomes possible to establish replicable patterns that facilitate the comparison of studies and the development of personalized rehabilitation protocols. These protocols, in turn, optimize outpatient follow-up and reduce the burden on the healthcare system. In view of the growing elderly population and the pressure this imposes on health services, the adoption of innovative technologies and evidence-based approaches is essential for improving clinical outcomes and patients' quality of life. In summary, this study reinforces the importance of advancing research and developing tools that promote more effective and personalized rehabilitation in cases of advanced osteoarthritis.

Review objectives

The primary objective of this study is to analyze how electronic devices and inertial sensors can be effectively used to assess mobility, function, and gait in patients undergoing unilateral knee arthroplasty, based on cross-sectional studies. The investigation aims not only to measure these parameters but also to understand how such technologies can identify functional and biomechanical patterns after surgery, contributing to a more precise and personalized rehabilitation process.

Three specific goals guide the research. First, to measure temporal gait parameters—including movement execution time, balance, posture, and speed—as well as transitions between movement phases, using inertial sensors to provide objective data on knee motor function. Second, to examine how the biomechanical variables relate to the type of prosthesis used, thereby supporting the selection of devices tailored to each patient's profile. Finally, to establish outpatient protocols that utilize these technological tools, enhancing patient evaluation and monitoring during recovery.

Overall, the systematic analysis of the data is expected to strengthen clinical practices by providing quantitative, reliable results that support therapeutic decisions and optimize rehabilitation for patients with advanced osteoarthritis undergoing knee arthroplasty.

Keywords

Sensors; Post-operative; Arthroplasty; Functionality; Knee osteoarthritis; Cadence; Postural balance

Country

Brazil; Italy

ELIGIBILITY CRITERIA

Population

Included

Patients undergoing unilateral knee arthroplasty, regardless of age.

Intervention(s) or exposure(s)

Included

Knee replacement; Total knee arthroplasty

Comparator(s) or control(s)

Included

PICO tags selected: Total knee arthroplasty; Knee replacement

Between a control group or before and after the surgical intervention, to evaluate functional performance among the groups.

Study design

Only nonrandomized study types will be included.

Included

Cross-sectional studies

Context

There is no contextual restriction for comparing patients who underwent knee arthroplasty with those who did not.

TIMELINE OF THE REVIEW

Date of first submission to PROSPERO

01 March 2025

Review timeline

Start date: 1 April 2025. End date: 1 June 2026.

Date of registration in PROSPERO

18 March 2025

AVAILABILITY OF FULL PROTOCOL

Availability of full protocol

A full protocol has been written but is not available because:

The current research protocol is being edited by the authors of this systematic review.

Approximately 20 days after this record is inserted on the platform, we will make it available.

SEARCHING AND SCREENING

Search for unpublished studies

Only unpublished studies will be sought.

Main bibliographic databases that will be searched

The main databases to be searched are *Embase - Embase via Ovid, Embase.com, MEDLINE and PubMed*.

Other important or specialist databases that will be searched

Web of Science

Search language restrictions

The review will only include studies published in Portuguese, English and Spanish.

Search date restrictions

Databases will be searched for articles published by 1 January 2014 and before by 30 June 2026.

Other methods of identifying studies

Other studies will be identified by: *contacting authors or experts, searching dissertation and thesis databases and searching trial or study registers*.

Link to search strategy

A full search strategy has been uploaded to PROSPERO. The PDF may be accessed through this link

<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/PROSPEROFILES/b2e7f038855d615025cfa978043801c1.pdf>.

Selection process

Studies will be screened independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Other relevant information about searching and screening

None

DATA COLLECTION PROCESS

Data extraction from published articles and reports

Data will be extracted independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Authors will be asked to provide any required data not available in published reports.

Study datasets/IPD will be obtained from study investigators or via a data repository

Study risk of bias or quality assessment

Data will be assessed independently by at least two people (or person/machine combination) with a process to resolve differences.

Additional information will be sought from study investigators if required information is unclear or unavailable in the study publications/reports.

Reporting bias assessment

Compare study protocols by checking registrations (e.g., ClinicalTrials.gov) to identify outcome switching or selective reporting. Include grey literature to reduce publication bias, contrast Methods and Results for inconsistencies, assess bias qualitatively, examine study consistency, and use statistical tests (funnel plots, Egger/Begg) to detect publication bias.

Certainty assessment

Adaptation of GRADE for Observational Studies

Although GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) was originally developed for clinical trials, it can be adapted for observational studies, including cross-sectional designs. In this adaptation, evidence starts at a "low" certainty level, which may be downgraded (due to risk of bias, imprecision, inconsistency, indirectness, and publication bias) or upgraded (for strong associations, a dose-response effect, or robust bias control).

By using specific tools like AXIS to assess the risk of bias in each study, you can integrate this evaluation into the judgment of each GRADE domain, justifying any downgrades or upgrades in classification.

Strategies for Assessing Consistency and Heterogeneity

For quantitative results suitable for comparison or synthesis (e.g., meta-analysis or comparative description), analyzing heterogeneity (I^2 , between-study variance) helps determine consistency in findings; high variability may downgrade certainty. In qualitative syntheses, examining significant similarities or discrepancies in conclusions also aids consistency evaluation.

Relevance and Applicability (Indirectness)

Ensure that populations, contexts, and outcomes in cross-sectional studies align with the review question. Large differences may indicate indirectness and reduce confidence in the findings.

Assessment of Precision

In cross-sectional studies, sampling and measurement variability affect precision. Wide confidence intervals or unstable estimates may lower confidence.

Use of Checklists and Qualitative Evaluations

Documenting why certain studies carry more or less weight—detailing each risk-of-bias domain and potential confounders—is useful.

Triangulation with Other Evidence Sources

Comparing cross-sectional findings with those from more robust designs (e.g., cohort studies or clinical trials) can either increase or decrease confidence, helping verify the plausibility of the observed results.

OUTCOMES TO BE ANALYSED

Main outcomes

Definition: Progressive improvement in knee flexion, posture, execution time, and walking speed during the stance and swing phases.

Measurement Instruments: Inertial sensors (IMUs), mobile systems, and, where applicable, standardized clinical assessments.

Time Points: Preoperative, immediately postoperative, short-term (e.g., 2 to 8 weeks), and long-term (up to 12 months) post-arthroplasty.

Effect Measure: Mean difference in degrees and effect sizes, as well as correlation coefficients (for example, between pain and range of motion).

Additional outcomes

There are no additional outcomes.

PLANNED DATA SYNTHESIS

Strategy for data synthesis

All included studies will have data extracted by two reviewers using a customized data extraction table in Microsoft Excel, conducted in a blinded and independent manner. A third author will review and compare the data between the two tables. The data will be presented as a synthesis in a table with numbers and codes for the results section. The reviewers will extract the following data: (a) metadata (e.g., authorship and publication year), (b) population characteristics (e.g., age, clinical features), and (c) the device used in the evaluation, which will later be analyzed by a third author to confirm the extracted data.

CURRENT REVIEW STAGE

Stage of the review at this submission

Review stage	Started	Completed
Pilot work		
Formal searching/study identification		
Screening search results against inclusion criteria		

Data extraction or receipt of IPD

Risk of bias/quality assessment

Data synthesis

Review status

The review is currently planned or ongoing.

Publication of review results

Results of the review will be published in English.

REVIEW AFFILIATION, FUNDING AND PEER REVIEW

Review team members

Mr Leonardo Pinheiro Rezende (review guarantor and contact) ORCID: 0000-0001-5045-2900. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Mr Enzo Boaventura Sandes. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Mr Adryan Tyrone Alves de Moraes. ORCID: 0009-0004-2865-4900. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Mr Rodolfo Borges Parreira. ORCID: 0000-0003-2597-1172. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Mr Matheus Maciel Machado. ORCID: 0009-0003-2493-2128. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Ms Mariana Bessa Marinho. ORCID: 0009-0004-9446-3686. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Mr Andrei Machado Viegas da Trindade. ORCID: 0000-0002-6550-4037. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Ms Cláudia Santos Oliveira. ORCID: 0000-0001-8509-4576. Evangelical University of Goiás. Brazil.

No conflict of interest declared.

Ms Veronica Cimolin. ORCID: 0000-0001-6299-7254. Politecnico di Milano. Italy.

No conflict of interest declared.

Named contact

Mr Leonardo Pinheiro Rezende (leonardo.rezende@aluno.unievangelica.edu.br). ORCID: 0000-0001-5045-2900. Evangelical University of Goiás. Brazil.

Review affiliation

Evangelical University of Goiás (UniEVANGÉLICA)

Funding source

Review has no specific/external funding but is supported by guarantor/review team (non-commercial) institutions.

Peer review

The entire review protocol was independently reviewed by each of the authors in a blinded and independent manner.

ADDITIONAL INFORMATION

Review conflict of interest

Declared individual interests are recorded under team member details.. No additional interests are recorded for this review.

Medical Subject Headings

Arthroplasty, Replacement, Knee; Cross-Sectional Studies; Gait; Goals; Humans; Osteoarthritis; Outpatients; Posture; Prostheses and Implants; Systematic Reviews as Topic

SIMILAR REVIEWS

Check for similar records already in PROSPERO

PROSPERO identified a number of existing PROSPERO records that were similar to this one (last check made on 1 March 2025). These are shown below along with the reasons given by that the review team for the reviews being different and/or proceeding.

- Wearable inertial sensors and machine learning applications for lower limb rehabilitation following total-knee arthroplasty: a systematic review [published 30 June 2023] [CRD42023432582]. The review was judged **not to be similar**
- Assessment of the gait and functional mobility of patients undergoing knee arthroplasty using electronic devices: a systematic review [published 20 April 2022] [CRD42022292001]. The review was judged **not to be similar**
- Are the inertial sensors suitable to detect the differences in the upper limb use in childhood? A systematic review [published 21 February 2016] [CRD42016033687]. The review was judged **not to be similar**

PROSPERO version history

- [Version 1.0, published 18 Mar 2025](#)

Disclaimer

The content of this record displays the information provided by the review team. PROSPERO does not peer review registration records or endorse their content.

PROSPERO accepts and posts the information provided in good faith; responsibility for record content rests with the review team. The guarantor for this record has affirmed that the information provided is truthful and that they understand that deliberate provision of inaccurate information may be construed as scientific misconduct.

PROSPERO does not accept any liability for the content provided in this record or for its use. Readers use the information provided in this record at their own risk.

Any enquiries about the record should be referred to the named review contact