



Fatores ambientais e sua influência nas condições ortopédicas pediátricas do desenvolvimento

Hugo de Sousa Leal Neto ¹, Ana Clara Gonçalves de Oliveira ², Valeska Kelly Carvalho Tupinambá ³, Vívian Lis Canto Belmont Neves ⁴.

 <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p256-270>
Artigo publicado em 06 de Março de 2025

ARTIGO DE REVISÃO

RESUMO

As condições ortopédicas pediátricas resultam da interação complexa entre fatores genéticos e ambientais, sendo que os últimos desempenham um papel fundamental na modulação do desenvolvimento musculoesquelético em crianças. Este artigo de revisão científica explora, de forma abrangente, os principais fatores ambientais que influenciam o crescimento ósseo e articular infantil, incluindo a nutrição, a atividade física, a exposição a toxinas e poluentes, e as condições socioeconômicas. A deficiência de nutrientes críticos como vitamina D e cálcio está associada ao desenvolvimento de condições como raquitismo e osteomalácia, comprometendo a formação óssea e a densidade mineral óssea. A obesidade infantil, exacerbada por dietas inadequadas e estilos de vida sedentários, agrava a sobrecarga mecânica no sistema esquelético em crescimento, contribuindo para deformidades angulares e doenças articulares. Paralelamente, a exposição a poluentes ambientais, como metais pesados e partículas finas, tem demonstrado efeitos deletérios sobre o metabolismo ósseo e a função articular, especialmente em populações urbanas. O sedentarismo, intensificado pela falta de espaços recreativos e pelo uso excessivo de dispositivos eletrônicos, resulta em baixa densidade óssea, fraqueza muscular e problemas posturais. As condições socioeconômicas agravam essas vulnerabilidades, uma vez que crianças de famílias com menos recursos enfrentam barreiras adicionais ao acesso a cuidados ortopédicos de qualidade, levando ao diagnóstico tardio e ao tratamento inadequado de distúrbios musculoesqueléticos. O diagnóstico precoce permite intervenções menos invasivas e aumenta a eficácia do tratamento, sendo fundamental para prevenir complicações graves a longo prazo. A implementação de políticas públicas que promovam a saúde ortopédica infantil, com enfoque na equidade de acesso, é imprescindível para garantir o desenvolvimento musculoesquelético saudável em populações pediátricas, independentemente de suas condições socioeconômicas.

PALAVRAS-CHAVE: Fatores Ambientais; Ortopedia Pediátrica; Desenvolvimento Ósseo; Diagnóstico Precoce; Intervenções Preventivas.

Environmental factors and their influence on pediatric orthopedic developmental conditions

ABSTRACT

Pediatric orthopedic conditions result from the complex interplay between genetic and environmental factors, with the latter playing a key role in modulating musculoskeletal development in children. This scientific review article comprehensively explores the main environmental factors that influence childhood bone and joint growth, including nutrition, physical activity, exposure to toxins and pollutants, and socioeconomic conditions. Deficiency of critical nutrients such as vitamin D and calcium is associated with the development of conditions such as rickets and osteomalacia, compromising bone formation and bone mineral density. Childhood obesity, exacerbated by inadequate diets and sedentary lifestyles, aggravates mechanical overload on the growing skeletal system, contributing to angular deformities and joint diseases. In parallel, exposure to environmental pollutants, such as heavy metals and fine particles, has been shown to have deleterious effects on bone metabolism and joint function, especially in urban populations. A sedentary lifestyle, exacerbated by the lack of recreational spaces and excessive use of electronic devices, results in low bone density, muscle weakness, and postural problems. Socioeconomic conditions exacerbate these vulnerabilities, as children from families with fewer resources face additional barriers to accessing quality orthopedic care, leading to late diagnosis and inadequate treatment of musculoskeletal disorders. Early diagnosis allows for less invasive interventions and increases the effectiveness of treatment, being essential to prevent serious long-term complications. The implementation of public policies that promote pediatric orthopedic health, with a focus on equity of access, is essential to ensure healthy musculoskeletal development in pediatric populations, regardless of their socioeconomic conditions.

Keywords: Environmental Factors; Pediatric Orthopedics; Bone Development; Early Diagnosis; Preventive Interventions.

Instituição afiliada – 1 Facid Devry, 2 Universidade Paranaense, 3 Faculdade Ideal Faci Wyden, 4 Faculdade Metropolitana do Amazonas.

Dados da publicação:

DOI:

Autor correspondente: Hugo de Sousa Leal Neto. hugs.90@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)





INTRODUÇÃO

O desenvolvimento musculoesquelético infantil é um processo dinâmico e influenciado por múltiplos fatores, incluindo aspectos genéticos, epigenéticos e ambientais. Enquanto a genética estabelece o potencial de crescimento ósseo, evidências indicam que o ambiente exerce um papel determinante na modulação desse potencial, podendo tanto favorecer quanto prejudicar a saúde ortopédica. A interação entre predisposição genética e condições externas resulta em variações significativas na estrutura óssea, podendo levar a deformidades, atrasos no crescimento ou até mesmo doenças ortopédicas crônicas (Safi-Stibler; Gabory, 2020).

As condições ortopédicas pediátricas abrangem um amplo conjunto de distúrbios do sistema musculoesquelético, embora algumas tenham origem genética, muitas são agravadas por fatores ambientais, como nutrição inadequada, sedentarismo, exposição a toxinas e desigualdade socioeconômica. Dessa forma, o ambiente pode atuar tanto como um fator protetor quanto como um elemento de risco no desenvolvimento ósseo infantil (Fuggle *et al.*, 2022).

Entre os fatores ambientais, a nutrição se destaca como um dos principais moduladores da formação óssea. Nutrientes como cálcio, fósforo e vitamina D desempenham funções essenciais na mineralização do esqueleto, enquanto sua deficiência está relacionada a doenças como o raquitismo e a osteopenia, que comprometem a densidade óssea (Charoenngam; Ayoub; Holick, 2022). A exposição a poluentes e toxinas ambientais é outro fator significativo. Substâncias como metais pesados, especialmente o chumbo, afetam a remodelação óssea e podem levar a alterações estruturais e fragilidade esquelética (Priya; Nandhini; Arockiaraj, 2023).

A atividade física exerce uma influência direta sobre a saúde óssea. Exercícios que envolvem impacto e carga mecânica contribuem para o fortalecimento do esqueleto, enquanto o sedentarismo, agravado pelo uso excessivo de dispositivos eletrônicos, está associado a distúrbios posturais e menor densidade mineral óssea (Proia *et al.*, 2021). Outro aspecto relevante é a condição socioeconômica, que influencia o acesso a uma nutrição adequada, atendimento médico e oportunidades para atividade física. Crianças em situação de vulnerabilidade frequentemente enfrentam maiores riscos de desenvolver



condições ortopédicas não diagnosticadas ou inadequadamente tratadas (Dittrich *et al.*, 2023).

Diante desses fatores, torna-se essencial compreender a influência do ambiente no desenvolvimento musculoesquelético infantil para elaborar estratégias eficazes de prevenção e intervenção. O diagnóstico precoce, associado a políticas públicas que incentivem hábitos saudáveis e garantam acesso a cuidados médicos e nutricionais adequados, pode minimizar os impactos negativos e reduzir a incidência de doenças ortopédicas crônicas. O presente artigo analisa a literatura científica sobre os principais fatores ambientais que afetam a saúde ortopédica infantil, com ênfase na nutrição, poluição, nível de atividade física e desigualdade socioeconômica, além de discutir intervenções eficazes para reduzir os riscos associados.

METODOLOGIA

A presente revisão narrativa foi conduzida com o objetivo de sintetizar e analisar criticamente os fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento de condições ortopédicas pediátricas, com foco na nutrição, exposição a poluentes e toxinas, níveis de atividade física e condições socioeconômicas. O processo metodológico seguiu uma abordagem baseada na seleção criteriosa da literatura relevante, abrangendo artigos originais, revisões sistemáticas e publicações científicas relacionadas ao tema, sem restrições geográficas, mas com preferência por estudos publicados em inglês e português.

A busca pelos artigos foi realizada em bases de dados acadêmicas amplamente reconhecidas, como PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar. Foram utilizadas palavras-chave específicas, combinadas por operadores booleanos para aumentar a precisão dos resultados, tais como "fatores ambientais", "condições ortopédicas", "desenvolvimento pediátrico", "nutrição infantil", "poluição ambiental", "atividade física" e "obesidade infantil". A revisão incluiu publicações dos últimos 10 anos, de modo a incorporar tanto estudos recentes quanto clássicos na área, garantindo uma visão abrangente das evidências acumuladas.

A seleção dos estudos seguiu um rigoroso processo de triagem. Primeiramente, títulos e resumos foram revisados para identificar artigos que

abordassem a relação entre fatores ambientais e o desenvolvimento ortopédico infantil. Estudos que não apresentavam dados específicos sobre a influência ambiental no sistema musculoesquelético foram excluídos. Posteriormente, os artigos selecionados foram analisados em sua íntegra, verificando-se a adequação metodológica, o delineamento dos estudos e a relevância dos resultados para os objetivos da presente revisão. Foram incluídos estudos de coorte, ensaios clínicos, revisões sistemáticas, além de relatórios de organizações de saúde internacionais que oferecessem dados quantitativos e qualitativos pertinentes à análise.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida de maneira qualitativa, focando na identificação dos principais fatores ambientais e sua correlação com as condições ortopédicas pediátricas, bem como nas implicações clínicas e preventivas sugeridas. Os dados extraídos dos artigos foram comparados e discutidos, buscando-se destacar convergências, divergências e lacunas na literatura. O resultado dessa análise foi organizado de forma a proporcionar uma visão clara dos efeitos das condições ambientais sobre o desenvolvimento musculoesquelético infantil, enfatizando a necessidade de medidas preventivas e de políticas públicas adequadas.

RESULTADOS

FATORES NUTRICIONAIS

A nutrição exerce um papel central no desenvolvimento ósseo infantil, sendo um dos principais fatores ambientais que influenciam a saúde musculoesquelética durante o crescimento. A ingestão adequada de macro e micronutrientes é essencial para garantir a formação óssea robusta, a mineralização eficiente e o suporte estrutural necessário ao desenvolvimento ortopédico saudável. Entre os nutrientes mais relevantes para esse processo, destacam-se o cálcio, o fósforo e a vitamina D, cuja deficiência pode levar a condições graves, como o raquitismo e a osteopenia, com impactos prolongados na vida da criança (Di Marcello *et al.*, 2022).

A falta de vitamina D está entre as principais causas de distúrbios de mineralização óssea em crianças, resultando no raquitismo, que se caracteriza



por deformações ósseas, atraso no crescimento e fraqueza muscular. Essa vitamina é essencial para a homeostase do cálcio e do fósforo, promovendo sua absorção intestinal e facilitando a deposição óssea. Quando há deficiência, seja por baixa ingestão dietética ou exposição insuficiente à luz solar, a mineralização óssea é prejudicada, tornando os ossos frágeis e propensos a deformidades (Charoenngam; Ayoub; Holick, 2022).

O cálcio também é indispensável para o crescimento e manutenção da densidade mineral óssea (DMO). A deficiência desse mineral na infância pode comprometer a formação esquelética e aumentar a vulnerabilidade a fraturas e outras complicações ortopédicas, como a osteoporose precoce. A necessidade de cálcio é especialmente alta durante os períodos de crescimento acelerado, quando a formação óssea ocorre de maneira intensa. Crianças que não recebem quantidades adequadas desse nutriente, seja devido a restrições alimentares ou falta de acesso a alimentos ricos em cálcio, enfrentam riscos elevados de comprometimento da saúde óssea (Palacios *et al.*, 2021).

Outro fator relevante para a saúde musculoesquelética infantil é a obesidade, que tem sido associada a diversas condições ortopédicas. O excesso de peso sobrecarrega o sistema musculoesquelético em desenvolvimento, impondo uma carga excessiva sobre ossos e articulações. Esse impacto mecânico pode levar a alterações como o genu varum e o genu valgum, além de doenças articulares, como a de Blount, que afeta o crescimento da tíbia e resulta em deformidades progressivas dos membros inferiores. Crianças obesas também apresentam maior propensão ao pé plano, condição que pode causar dores e dificuldades de mobilidade (Sadeghi- demneh *et al.*, 2016).

Além dos impactos mecânicos, a obesidade infantil afeta a saúde óssea por meio de mecanismos metabólicos. O estado inflamatório crônico associado ao excesso de gordura pode comprometer a DMO e prejudicar o metabolismo ósseo. A resistência à insulina, comum em crianças obesas, também pode interferir na remodelação óssea, aumentando o risco de complicações ortopédicas (Rinonapoli *et al.*, 2021).

A influência da nutrição no desenvolvimento ósseo infantil se torna ainda mais evidente ao analisarmos dietas modernas, frequentemente ricas em ultraprocessados e pobres em nutrientes essenciais. Deficiências de magnésio e fósforo, fundamentais para a mineralização óssea, podem comprometer a

estrutura óssea. O consumo excessivo de sódio, comum nessas dietas, também pode levar à excreção urinária aumentada de cálcio, contribuindo para a perda óssea em crianças e adolescentes (Yadav *et al.*, 2024).

Para prevenir essas condições, é necessário um esforço conjunto de políticas públicas voltadas à saúde infantil. Estratégias como a suplementação de vitamina D em populações de risco e a fortificação de alimentos com cálcio têm mostrado bons resultados na redução de doenças relacionadas à deficiência nutricional. No entanto, tais medidas devem ser acompanhadas por programas educacionais que conscientizem pais e cuidadores sobre a importância de uma alimentação equilibrada para o crescimento saudável (Luzardo, 2024).

EXPOSIÇÃO A TOXINAS E POLUENTES AMBIENTAIS

A exposição a toxinas e poluentes ambientais na infância pode impactar significativamente o desenvolvimento ortopédico. O sistema musculoesquelético em crescimento é altamente vulnerável a substâncias tóxicas que afetam o metabolismo ósseo, a formação cartilaginosa e a saúde articular. Entre os agentes mais estudados estão os metais pesados, como chumbo, cádmio e mercúrio, além de poluentes atmosféricos provenientes da atividade industrial e da urbanização. O impacto dessas substâncias na saúde óssea tem sido cada vez mais investigado, pois suas consequências podem se manifestar ao longo da vida, afetando tanto o crescimento infantil quanto a estrutura esquelética na fase adulta (Giannattasio *et al.*, 2022).

O chumbo, um dos metais pesados mais disseminados no ambiente, está associado a efeitos negativos no desenvolvimento ósseo. Ele interfere no metabolismo do cálcio, um mineral essencial para a formação e mineralização óssea, substituindo-o nos ossos e resultando em uma mineralização deficiente. Essa substituição compromete a formação da matriz óssea e enfraquece o esqueleto. O chumbo também interfere na remodelação óssea, um processo fundamental durante a infância, quando a massa óssea se expande rapidamente. Estudos longitudinais apontam que crianças expostas a níveis elevados desse metal apresentam maior risco de atraso no crescimento, deformidades ósseas e osteopenia (Jia *et al.*, 2023).

Outro metal pesado com efeitos nocivos é o cádmio, cuja exposição ocorre principalmente por inalação de fumaça de cigarro ou ingestão de



alimentos contaminados. Esse elemento está relacionado à desmineralização óssea e ao aumento do risco de fraturas. Assim como o chumbo, ele interfere no metabolismo do cálcio e prejudica a função das células responsáveis pela remodelação óssea. O cádmio se acumula nos rins, levando a um aumento da excreção urinária de cálcio, o que compromete ainda mais a resistência óssea. Ao longo do tempo, a exposição contínua pode resultar em osteomalácia, uma condição caracterizada por ossos moles e propensos a deformidades e fraturas (Ma *et al.*, 2022).

O mercúrio, embora menos estudado nesse contexto, também apresenta riscos ao esqueleto infantil. O metilmercúrio, sua forma mais tóxica, acumula-se no sistema nervoso e afeta o desenvolvimento neuromuscular, podendo comprometer o alinhamento postural e a distribuição de carga sobre os ossos. Embora os efeitos diretos do mercúrio na formação óssea não sejam tão documentados quanto os de outros metais pesados, seu impacto no controle neuromuscular sugere um papel potencial no desenvolvimento de distúrbios musculoesqueléticos (Wu *et al.*, 2024).

A poluição atmosférica também tem sido apontada como um fator relevante no desenvolvimento ortopédico infantil. A exposição a material particulado fino (PM_{2,5}) e óxidos de nitrogênio (NO_x) está associada a inflamação sistêmica e disfunção endócrina, ambos processos que afetam diretamente a saúde óssea. Evidências sugerem que crianças expostas a altos níveis de poluição apresentam menor concentração de vitamina D no sangue, um hormônio essencial para o metabolismo do cálcio e a mineralização óssea. A inflamação crônica induzida por esses poluentes pode prejudicar a função dos osteoblastos e osteoclastos, células responsáveis pela formação e reabsorção óssea, levando a um crescimento ósseo comprometido (Pang; Ekeuku; Chin, 2021).

Outro fator de preocupação é a exposição a disruptores endócrinos ambientais, como ftalatos e bisfenol A (BPA), presentes em plásticos e diversos produtos de consumo. Esses compostos imitam hormônios naturais, como estrogênio e hormônios da tireoide, que regulam o crescimento ósseo. Ao interferirem no equilíbrio hormonal, podem comprometer a maturação esquelética e favorecer deformidades ósseas. Embora mais pesquisas sejam necessárias para compreender totalmente esses efeitos em humanos, os dados



disponíveis sugerem uma relação preocupante entre a exposição a essas substâncias e o desenvolvimento ósseo infantil (Turan, 2021).

ATIVIDADE FÍSICA E SEDENTARISMO

A atividade física é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento saudável do sistema musculoesquelético na infância e adolescência. Seu impacto direto na densidade mineral óssea, na estrutura articular e na força muscular ressalta sua importância na prevenção de distúrbios ortopédicos pediátricos. Em contrapartida, o sedentarismo, caracterizado pela inatividade prolongada, é um fator de risco associado a diversas complicações ortopédicas, além de prejudicar o desenvolvimento motor e a coordenação em crianças (Steinberg *et al.*, 2018).

A prática regular de exercícios, especialmente aqueles que envolvem impacto e carga mecânica, como correr, pular e saltar, favorece a densidade e a estrutura óssea infantil. Durante a infância, a osteogênese é altamente estimulada por atividades que impõem tensões mecânicas no esqueleto, contribuindo para o desenvolvimento da densidade mineral óssea (DMO) e para a aquisição de um pico de massa óssea adequado. Esse pico, alcançado principalmente na adolescência, tem papel essencial na prevenção de doenças osteometabólicas, como a osteoporose na vida adulta (Farella *et al.*, 2025).

Por outro lado, a inatividade física está associada a diversas complicações ortopédicas e à piora da saúde óssea infantil. Crianças sedentárias apresentam menor estímulo para a formação óssea, o que reduz a DMO e eleva o risco de fraturas por fragilidade. A postura corporal também pode ser prejudicada, favorecendo deformidades como escoliose, hipercifose torácica e hiperlordose lombar. O uso excessivo de tablets, computadores e televisores tem sido associado a padrões posturais inadequados devido à flexão prolongada da coluna e ao desalinhamento da cabeça e pescoço (Wilson-Barnes; Lanham-New; Lambert, 2022).

A falta de exercício também leva à redução da força muscular e da flexibilidade, fatores essenciais para a estabilização e proteção das articulações. A fraqueza dos músculos estabilizadores, especialmente na região do core, aumenta o risco de lesões, como luxações e entorses, principalmente em crianças que praticam atividades físicas de forma esporádica e sem preparo



adequado. A ausência de estímulo mecânico pode comprometer a produção de colágeno e outras proteínas estruturais, essenciais para tendões e ligamentos (Karlin; Goyeneche, 2020).

Além dos impactos diretos no sistema musculoesquelético, a atividade física influencia a regulação de hormônios essenciais para o crescimento ósseo, como o hormônio do crescimento (GH), o fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1) e a testosterona. O efeito anabólico do IGF-1, ao estimular a proliferação dos osteoblastos e a síntese de colágeno, é particularmente relevante durante o estirão puberal (Kraemer *et al.*, 2020).

CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICAS E CUIDADO ORTOPÉDICO

As condições socioeconômicas exercem uma influência ampla sobre a saúde ortopédica pediátrica, afetando tanto o acesso aos cuidados médicos quanto às oportunidades de prevenção e tratamento precoce de distúrbios musculoesqueléticos. A interação entre pobreza, alimentação inadequada e cuidados insuficientes cria um ciclo de vulnerabilidade que compromete o desenvolvimento ósseo e articular infantil, dificultando um tratamento eficaz e a reabilitação a longo prazo (Lewis *et al.*, 2019).

Uma das principais barreiras enfrentadas por essas crianças é a dificuldade de acesso a serviços especializados. Em regiões de baixa renda, a escassez de ortopedistas pediátricos leva ao subdiagnóstico ou ao diagnóstico tardio de condições que poderiam ser tratadas precocemente. Patologias como displasia do desenvolvimento do quadril, escoliose e deformidades angulares dos membros inferiores, quando não identificadas e tratadas a tempo, podem evoluir para sequelas permanentes, dor crônica e limitações físicas. A ausência de programas de triagem ortopédica, associada à falta de exames de imagem avançados, agrava o prognóstico dessas crianças (Monsell *et al.*, 2017).

O ambiente em que crianças de baixa renda vivem também influencia sua saúde ortopédica. A falta de espaços seguros para atividades físicas limita as oportunidades de exercício, essencial para o fortalecimento ósseo e muscular. A exposição a ambientes degradados, com altos níveis de poluição e contaminação por metais pesados, pode intensificar o risco de distúrbios musculoesqueléticos (Priya; Nandhini; Arockiaraj, 2023).



As dificuldades econômicas também interferem no acesso a tratamentos ortopédicos como fisioterapia, órteses e cirurgias corretivas. Mesmo em países com sistemas públicos de saúde, custos indiretos, como transporte e faltas ao trabalho dos responsáveis, podem ser impeditivos para muitas famílias. Isso resulta em um número elevado de crianças que, mesmo diagnosticadas, não conseguem receber o tratamento necessário. A adesão ao tratamento também é afetada pelas dificuldades socioeconômicas. O estresse financeiro, a falta de informações e a escassez de suporte psicossocial dificultam a continuidade dos cuidados (Leggit *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento ortopédico infantil é um processo complexo influenciado por diversos fatores ambientais que afetam diretamente a saúde musculoesquelética. O ambiente pode atuar tanto como um fator de proteção quanto como um risco significativo, ressaltando a necessidade de medidas preventivas e diagnósticos precoces. A deficiência nutricional, especialmente a falta de cálcio e vitamina D, está diretamente relacionada a doenças como raquitismo e osteomalácia, atingindo principalmente populações vulneráveis. Da mesma forma, a obesidade infantil, impulsionada por dietas inadequadas e estilos de vida sedentários, sobrecarrega o sistema esquelético em crescimento e compromete a função articular, favorecendo o desenvolvimento de condições degenerativas. Esses fatores evidenciam a relevância de políticas públicas que assegurem uma alimentação equilibrada e incentivem a prática de atividade física desde a infância para evitar deformidades ósseas e articulares.

A poluição ambiental também exerce um impacto significativo sobre o metabolismo ósseo, especialmente em regiões urbanizadas e industrializadas. A relação entre a poluição atmosférica e a baixa densidade mineral óssea, bem como os efeitos prejudiciais de metais pesados como chumbo e cádmio na formação óssea, indicam a necessidade de maior regulamentação ambiental e campanhas de conscientização. A exposição prolongada a essas substâncias durante a infância pode comprometer a saúde esquelética a longo prazo, tornando essencial a adoção de medidas preventivas. As condições socioeconômicas desfavoráveis agravam esses riscos, criando um ciclo de



vulnerabilidade no qual crianças de famílias de baixa renda enfrentam maior incidência de desnutrição, acesso limitado a cuidados ortopédicos e exposição a ambientes insalubres. Barreiras financeiras e sociais dificultam tanto o diagnóstico precoce quanto a adesão a tratamentos preventivos, tornando urgente a implementação de políticas de saúde que garantam atendimento acessível e equitativo.

A identificação precoce de distúrbios como displasia do quadril, escoliose e desalinhamentos posturais permite intervenções menos invasivas e mais eficazes, melhorando o prognóstico e evitando complicações futuras. Programas sistemáticos de triagem, aliados a avanços tecnológicos, podem transformar o cuidado ortopédico pediátrico, ampliando o acesso a tratamentos adequados. Compreender e mitigar os impactos ambientais no desenvolvimento ortopédico infantil é essencial para assegurar que todas as crianças cresçam com um sistema musculoesquelético saudável. A união entre prevenção, diagnóstico antecipado e políticas públicas eficazes pode reduzir a incidência de doenças ortopédicas e melhorar a qualidade de vida, garantindo um futuro mais saudável para a população infantil.

REFERÊNCIAS

CHAROENNGAM, Nipith; AYOUB, David; HOLICK, Michael F. Nutritional rickets and vitamin D deficiency: Consequences and strategies for treatment and prevention. **Expert Review of Endocrinology & Metabolism**, v. 17, n. 4, p. 351-364, 2022.

DI MARCELLO, Francesca et al. Bone health in children with rheumatic disorders: focus on molecular mechanisms, diagnosis, and management. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, p. 5725, 2022.

DITTRICH, Anne TM et al. Diagnosis, Follow-Up and Therapy for Secondary Osteoporosis in Vulnerable Children: A Narrative Review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 7, p. 4491, 2023.

FARELLA, Ilaria et al. The “Burden” of Childhood Obesity on Bone Health: A Look at Prevention and Treatment. **Nutrients**, v. 17, n. 3, p. 491, 2025.

FUGGLE, N. R. et al. A review of epigenetics and its association with ageing of muscle and bone. **Maturitas**, v. 165, p. 12-17, 2022.

GIANNATTASIO, Raffaele et al. Bone disruption and environmental pollutants. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Immune, Endocrine & Metabolic Disorders)**, v. 22, n. 7, p. 704-715, 2022.



JIA, Zhenxian et al. Prenatal lead exposure, genetic factors, and cognitive developmental delay. **JAMA network open**, v. 6, n. 10, p. e2339108-e2339108, 2023.

KARLIN, Aaron M.; GOYENECHÉ, Nicholas P. Sport-specific musculoskeletal injuries. **Pediatric Rehabilitation: Principles and Practice**, p. 260, 2020.

KRAEMER, William J. et al. Growth hormone (s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. **Frontiers in endocrinology**, v. 11, p. 33, 2020.

LEGGIT, Jeffrey C. et al. Musculoskeletal Issues in Children and Adolescents. **FP Essentials**, n. 544, 2024.

LEWIS, Rebecca et al. Strategies for optimising musculoskeletal health in the 21st century. **BMC musculoskeletal disorders**, v. 20, p. 1-15, 2019.

LUZARDO, Michelle López. Effects of higher dietary acid load: a narrative review with special emphasis in children. **Pediatric Nephrology**, p. 1-13, 2024.

MA, Yonggang et al. The effect of oxidative stress-induced autophagy by cadmium exposure in kidney, liver, and bone damage, and neurotoxicity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 21, p. 13491, 2022.

MONSELL, Fergal et al. Genetic disorders, skeletal dysplasias and malformations. In: **Apley & Solomon's System of Orthopaedics and Trauma**. CRC Press, 2017. p. 157-178.

SADEGHI- DEMNEH, Ebrahim et al. Flatfoot and obesity in school- age children: a cross- sectional study. **Clinical obesity**, v. 6, n. 1, p. 42-50, 2016.

SAFI-STIBLER, Sofiane; GABORY, Anne. Epigenetics and the Developmental Origins of Health and Disease: Parental environment signalling to the epigenome, critical time windows and sculpting the adult phenotype. In: **Seminars in cell & developmental biology**. Academic Press, 2020. p. 172-180.

STEINBERG, Nili et al. Gait pattern, impact to the skeleton and postural balance in overweight and obese children: a review. **Sports**, v. 6, n. 3, p. 75, 2018.

PALACIOS, Cristina et al. Calcium- fortified foods in public health programs: considerations for implementation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1485, n. 1, p. 3-21, 2021.

PANG, Kok-Lun; EKEUKU, Sophia Ogechi; CHIN, Kok-Yong. Particulate air pollution and osteoporosis: a systematic review. **Risk Management and Healthcare Policy**, p. 2715-2732, 2021.

PRIYA, P. Snega; NANDHINI, P. Pratiksha; AROCKIARAJ, Jesu. A comprehensive review on environmental pollutants and osteoporosis: Insights into molecular pathways. **Environmental Research**, p. 117103, 2023.

PROIA, Patrizia et al. The impact of diet and physical activity on bone health in children and adolescents. **Frontiers in Endocrinology**, v. 12, p. 704647, 2021.



RINONAPOLI, Giuseppe et al. Obesity and bone: a complex relationship. **International journal of molecular sciences**, v. 22, n. 24, p. 13662, 2021.

TURAN, Serap. Endocrine disrupting chemicals and bone. **Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 35, n. 5, p. 101495, 2021.

YADAV, Shivmurat et al. Metabolism of Macro-elements (Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Chloride and Phosphorus) and Associated Disorders. In: **Clinical Applications of Biomolecules in Disease Diagnosis: A Comprehensive Guide to Biochemistry and Metabolism**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 177-203.

WILSON-BARNES, Saskia L.; LANHAM-NEW, Susan A.; LAMBERT, Helen. Modifiable risk factors for bone health & fragility fractures. **Best Practice & Research Clinical Rheumatology**, v. 36, n. 3, p. 101758, 2022.

WU, Yuan-Seng et al. The toxicity of mercury and its chemical compounds: molecular mechanisms and environmental and human health implications: a comprehensive review. **Acs Omega**, v. 9, n. 5, p. 5100-5126, 2024.