

MENINGITE BACTERIANA COMUNITÁRIA: DESAFIOS ATUAIS E USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO, MANEJO E TRATAMENTO

Carina Toledo Scoparo Barioni¹, Nilene Sales²

 <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p561-579>

Artigo publicado em 13 de março de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

A meningite bacteriana adquirida na comunidade é uma infecção grave do sistema nervoso central, caracterizada por rápida progressão e alta taxa de morbimortalidade. O diagnóstico precoce continua sendo um desafio devido à inespecificidade dos sintomas e à limitação dos métodos laboratoriais convencionais. Nos últimos anos, avanços tecnológicos, incluindo o uso da inteligência artificial (IA) e de testes moleculares avançados, têm melhorado a precisão diagnóstica e otimizado o manejo clínico. Este estudo revisa os principais desafios no diagnóstico, manejo e tratamento da meningite bacteriana, enfatizando as novas tecnologias aplicadas na área. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando a metodologia PRISMA, com seleção de artigos publicados entre 2018 e 2025 em bases de dados indexadas. Foram incluídos estudos que abordassem aspectos clínicos, epidemiológicos, microbiológicos e terapêuticos da doença. Os resultados indicam que técnicas como PCR multiplex têm melhorado a detecção rápida de patógenos, enquanto algoritmos de IA têm auxiliado na predição de desfechos clínicos e na identificação de resistência antimicrobiana. No entanto, desafios persistem, incluindo a necessidade de validação dessas tecnologias em larga escala e a ampliação do acesso a métodos diagnósticos avançados em países de baixa e média renda. Conclui-se que a integração de novas abordagens tecnológicas ao diagnóstico e tratamento da meningite bacteriana pode melhorar significativamente os desfechos dos pacientes e reduzir o impacto da resistência antimicrobiana.

Palavras-chave: Meningite bacteriana adquirida na comunidade; Inteligência artificial; Diagnóstico molecular; Resistência antimicrobiana; Manejo clínico.



COMMUNITY BACTERIAL MENINGITIS: CURRENT CHALLENGES AND USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIAGNOSIS, MANAGEMENT AND TREATMENT

ABSTRACT

Community-acquired bacterial meningitis is a severe central nervous system infection characterized by rapid progression and high morbidity and mortality rates. Early diagnosis remains a challenge due to the nonspecificity of symptoms and limitations of conventional laboratory methods. In recent years, technological advancements, including artificial intelligence (AI) and advanced molecular testing, have improved diagnostic accuracy and optimized clinical management. This study reviews the main challenges in the diagnosis, management, and treatment of bacterial meningitis, emphasizing the application of emerging technologies. A systematic literature review was conducted using the PRISMA methodology, selecting articles published between 2018 and 2025 from indexed databases. Studies addressing clinical, epidemiological, microbiological, and therapeutic aspects of the disease were included. The results indicate that techniques such as multiplex PCR have enhanced pathogen detection, while AI algorithms have aided in predicting clinical outcomes and identifying antimicrobial resistance. However, challenges persist, including the need for large-scale validation of these technologies and expanded access to advanced diagnostic methods in low- and middle-income countries. It is concluded that integrating new technological approaches into the diagnosis and treatment of bacterial meningitis can significantly improve patient outcomes and mitigate the impact of antimicrobial resistance.

Keywords: Community-acquired bacterial meningitis; Artificial intelligence; Molecular diagnosis; Antimicrobial resistance; Clinical management.

Instituição afiliada – UNIVERSIDADE POSITIVO

Autor correspondente: Carina Toledo Scoparo Barioni scoparo@gmail.com

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





INTRODUÇÃO

A meningite bacteriana adquirida na comunidade é uma infecção grave do sistema nervoso central, caracterizada por inflamação aguda das meninges e elevada taxa de morbimortalidade. Os principais agentes etiológicos incluem *Streptococcus pneumoniae*, *Neisseria meningitidis* e *Haemophilus influenzae* tipo b, sendo uma das principais causas de hospitalização e óbito por infecção do sistema nervoso central em diversas partes do mundo (WHO, 2024; XU et al, 2024; ZHANG et al., 2023). Estima-se que uma em cada seis pessoas afetadas pela meningite bacteriana venha a óbito, enquanto uma em cada cinco apresente sequelas que comprometem sua qualidade de vida, exigindo acompanhamento a longo prazo (WHO, 2024; Hasbun et al., 2023). Apesar dos avanços na prevenção, como a introdução de vacinas conjugadas, a meningite bacteriana continua sendo um desafio clínico, especialmente em populações vulneráveis e em países com baixa cobertura vacinal (GUPTA et al., 2022; NAKAMURA et al., 2021; DAVIS et al., 2018).

O diagnóstico precoce da meningite bacteriana é essencial para reduzir a mortalidade e minimizar sequelas neurológicas. No entanto, a apresentação clínica inespecífica da doença, caracterizada por sintomas como febre alta, cefaleia intensa e rigidez de nuca, pode dificultar a identificação imediata do quadro, levando a atrasos no início do tratamento adequado (Greenlee, 2022). Além disso, até 10% dos casos apresentam líquido cefalorraquidiano (LCR) sem pleocitose significativa, o que pode retardar a confirmação diagnóstica e impactar negativamente os desfechos clínicos (KIM et al., 2021; DE ALMEIDA et al., 2020). Tradicionalmente, o diagnóstico definitivo é estabelecido por meio da análise do LCR, obtido por punção lombar. Entretanto, esse procedimento pode ser contraindicado em pacientes com sinais de hipertensão intracraniana ou lesões expansivas intracranianas, tornando necessário o desenvolvimento de novas estratégias diagnósticas mais acessíveis e seguras (Brasil, 2024; Greenlee, 2022).

Nesse cenário, novas abordagens tecnológicas vêm sendo incorporadas ao diagnóstico e manejo da doença. A utilização de técnicas moleculares avançadas, como PCR multiplex, tem permitido uma detecção mais rápida e precisa dos agentes



causadores da meningite, otimizando a conduta terapêutica (THUNSTEDT et al., 2025; PATEL et al., 2024; Hasbun et al., 2023). Além disso, a inteligência artificial (IA) tem se destacado como uma ferramenta promissora para o diagnóstico e prognóstico da doença, auxiliando na interpretação de exames laboratoriais e na predição de desfechos clínicos. Modelos baseados em aprendizado de máquina já demonstraram capacidade de identificar padrões em exames de líquido e prever a resposta antimicrobiana, possibilitando um tratamento mais direcionado e eficaz (ZHANG et al., 2023).

Outro fator preocupante no manejo da meningite bacteriana é a crescente resistência antimicrobiana. O aumento de cepas resistentes de *S. pneumoniae* e *N. meningitidis* tem reduzido a eficácia dos antibióticos convencionais, tornando necessária a adoção de novas estratégias terapêuticas baseadas na personalização do tratamento. Sistemas de IA treinados para analisar perfis genômicos bacterianos estão sendo empregados para detectar genes de resistência, permitindo uma seleção mais precisa de antibióticos e reduzindo falhas terapêuticas (XU et al., 2024; KIM et al., 2021).

Diante desses avanços e desafios, este estudo tem como objetivo revisar os principais obstáculos enfrentados no diagnóstico, manejo e tratamento da meningite bacteriana adquirida na comunidade, com ênfase no impacto das novas tecnologias. A revisão explora a aplicabilidade das ferramentas de inteligência artificial, as inovações no diagnóstico molecular e os desafios da resistência antimicrobiana, discutindo como essas abordagens podem contribuir para melhorar os desfechos clínicos e reduzir a carga global da doença.

METODOLOGIA

Na elaboração desta revisão de literatura, utilizamos a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), um protocolo amplamente reconhecido para garantir a transparência e a qualidade na seleção e análise de artigos científicos. A pesquisa foi realizada em bases de dados indexadas, como PubMed, Scielo e Web of Science, considerando publicações dos últimos cinco anos (2018–2025) para assegurar a atualidade das evidências.

Os critérios de inclusão adotados abrangeram estudos originais, revisões sistemáticas e meta-análises que abordassem a meningite bacteriana adquirida na



comunidade, enfocando desafios no diagnóstico, manejo clínico e estratégias terapêuticas. Além disso, foram selecionados artigos que apresentassem dados clínicos relevantes, informações epidemiológicas e avanços tecnológicos aplicáveis ao diagnóstico e tratamento da doença. Por outro lado, os critérios de exclusão envolveram artigos que tratavam exclusivamente de meningite viral, estudos com amostras reduzidas sem significância estatística, revisões narrativas sem metodologia clara e publicações em idiomas que não fossem o inglês, espanhol ou português. Após a aplicação desses critérios, foi realizada a triagem dos artigos por meio da leitura dos títulos e resumos, seguida da análise integral dos textos selecionados. Para evitar viés de seleção, a triagem foi conduzida por dois revisores independentes e, em caso de discordância, um terceiro revisor foi consultado para decisão final. Dessa forma, garantiu-se a inclusão de artigos relevantes que proporcionassem uma visão abrangente e atualizada sobre os desafios enfrentados no diagnóstico, manejo e tratamento da meningite bacteriana adquirida na comunidade.

Os artigos que se relacionaram com o objeto de pesquisa do presente trabalho foram lidos na íntegra para avaliação de acordo com os critérios de inclusão, excluindo-se, ainda, os que não apresentaram relação específica com o tema abordado neste estudo. Ademais, outros artigos foram incluídos com objetivo de contextualização, enriquecimento e justificativa do tema abordado.

RESULTADOS

No processo de busca e seleção (Figura 1), foram obtidos 25 artigos, que estão analisados detalhadamente na Tabela 1, a qual apresenta a descrição dos artigos selecionados de acordo com: autor, ano de publicação, tipo de estudo e resultados encontrados.

Inicialmente, os termos de busca: "Community-acquired bacterial meningitis", "Bacterial meningitis diagnosis and management", "Antimicrobial resistance in bacterial meningitis", "Vaccination and prevention of bacterial meningitis" "Artificial Intelligence" identificaram 1209 artigos, sendo 844 artigos na PubMed, 166 artigos na Scielo e 199 no Periódicos Capes. Na sequência foi feita a exclusão dos artigos repetidos (84 artigos) e de estudos que não se relacionavam diretamente com o tema (974).

Nesta revisão, a pesquisa revelou 151 artigos que se relacionaram ao objeto de estudo do presente trabalho, sendo 5 na Scielo, 91 na Pubmed e 55 na Periódicos Capes. Após leitura da introdução e conclusão dos artigos, somente 37 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade pré especificados, representando 10 do Pubmed, 1 do Scielo e 26 do Periódicos da Capes. Por fim, após leitura na íntegra dos artigos, 25 foram selecionados para a revisão.

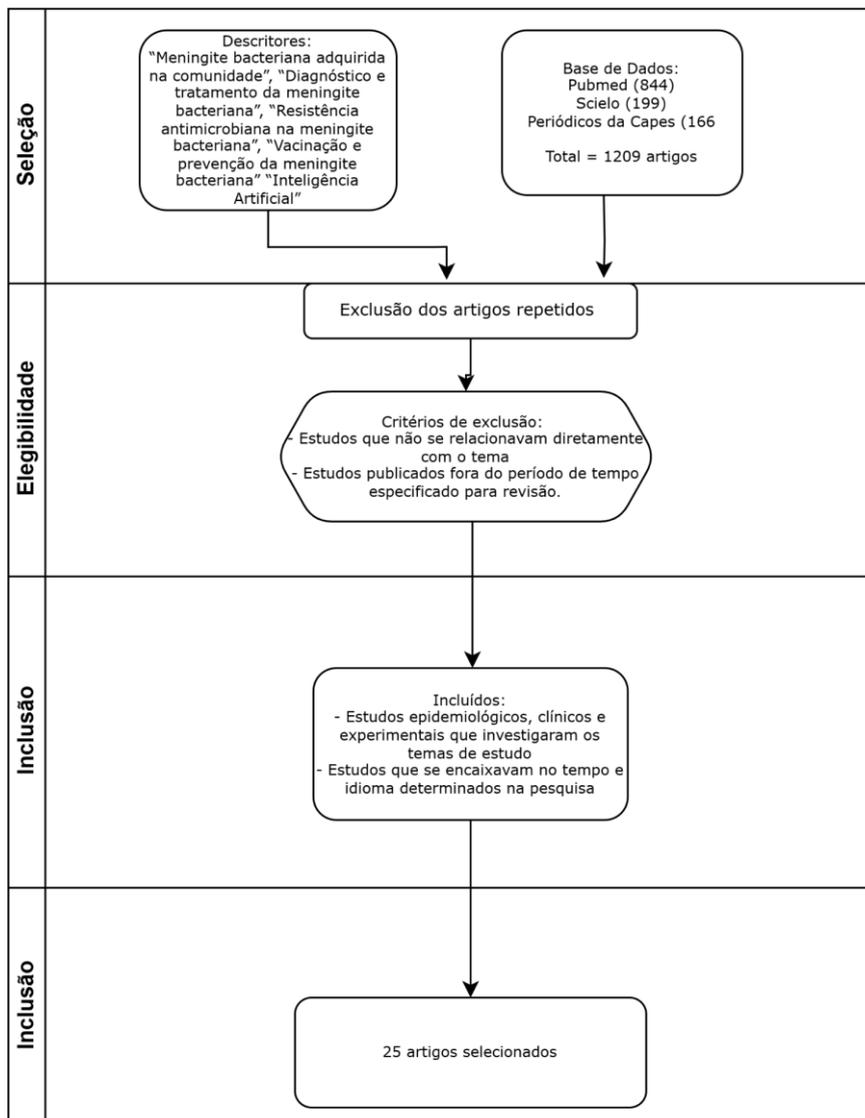


Figura 1. Fluxograma de busca e seleção de artigos. Fonte: Autoral.

Tabela 1- Descrição dos artigos selecionados de acordo com: autor, ano de publicação, tipo de estudo e resultados encontrados.



MENINGITE BACTERIANA COMUNITÁRIA: DESAFIOS ATUAIS E USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO, MANEJO E TRATAMENTO

Carina Toledo Scoparo Barioni e Nilene Salles, 2025.

TÍTULO	AUTOR/ ANO PUBLICAÇÃO	MÉTODO	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSÃO
El Hospital de Dénia acelera diagnóstico de meningitis con innovadora técnica de PCR.	BERENGUER, Juan Ramón. 2025. Cadena SER.	Reportagem jornalística. Descrição de um método de PCR para diagnóstico mais rápido de meningite.	Apresentar como o Hospital de Dénia acelera o diagnóstico de meningite e encefalite utilizando uma nova técnica de PCR.	A nova técnica de PCR permite reduzir significativamente o tempo de diagnóstico, melhorando o atendimento médico.	A técnica de PCR inovadora é eficaz na redução do tempo de diagnóstico e permite tratamentos mais rápidos e eficientes.
Intracerebral haemorrhage in bacterial meningitis.	Shahrzad S. Deliran, Matthijs C. Brouwer, Diederik van de Beek / 2022.	Estudo prospectivo de coorte realizado na Holanda entre 2006 e 2018, com 2306 episódios de meningite bacteriana. Pacientes com ICH foram identificados e analisados quanto a fatores de risco, características clínicas e prognóstico.	Determinar a incidência, curso clínico, padrões radiológicos e desfecho clínico de hemorragia intracerebral (ICH) complicando meningite bacteriana adquirida na comunidade.	ICH foi identificada em 44 de 2306 casos (1,9%). Pacientes com ICH tiveram maior mortalidade (55% vs. 16%, $p < 0,001$) e pior prognóstico (89% vs. 36%, $p < 0,001$) do que aqueles sem ICH. O uso de anticoagulantes, infarto cerebral e endocardite foram fatores de risco.	A ICH é uma complicação rara, porém grave, associada a alta mortalidade e sequelas neurológicas em pacientes com meningite bacteriana. O uso de anticoagulantes, endocardite e infartos cerebrais aumentam o risco.
Bacterial Meningitis in Adults.	GREENLEE, James E. 2022. The New England Journal of Medicine.	Revisão da literatura, análise de estudos clínicos sobre meningite bacteriana em adultos.	Revisar e discutir as causas, diagnóstico, tratamentos e prognósticos da meningite bacteriana em adultos.	A meningite bacteriana em adultos tem múltiplas causas, com variação no tratamento dependendo da origem da infecção.	O tratamento precoce é crucial para reduzir a mortalidade, e a escolha do antibiótico deve ser adaptada ao patógeno.
Increased Risk of Long-Term Disabilities Following Childhood Bacterial Meningitis in Sweden.	Salini Mohanty <i>et al.</i> , 2024.	Estudo de coorte retrospectivo baseado em registros nacionais na Suécia, com indivíduos diagnosticados com meningite bacteriana na infância (≤ 18 anos) entre 1987 e 2021. Comparação com grupo controle (1:9).	Avaliar os riscos de deficiências a longo prazo após meningite bacteriana na infância.	Indivíduos diagnosticados com meningite bacteriana apresentaram maior incidência cumulativa de sete deficiências (cognitivas, convulsões, perda auditiva, distúrbios motores, visuais, emocionais/comportamentais e lesões estruturais intracranianas). O maior risco foi associado à infecção por <i>Streptococcus pneumoniae</i> e ao diagnóstico em idade precoce.	A meningite bacteriana na infância está associada a um aumento significativo no risco de deficiências neurológicas a longo prazo, especialmente em casos de meningite pneumocócica e em crianças mais jovens.
Global Case Fatality of Bacterial Meningitis During an 80-Year Period: A Systematic Review and Meta-Analysis.	Cornelis N. van Ettekooven <i>et al.</i> , 2024.	Revisão sistemática e meta-análise de 371 estudos em 108 países (1935–2019). Uso de modelos de efeitos aleatórios e meta-regressão para avaliar a letalidade da meningite bacteriana.	Analisar a taxa de letalidade da meningite bacteriana e sua evolução ao longo de 80 anos, considerando diferentes patógenos, faixas etárias e desenvolvimento socioeconômico dos países.	A taxa global de letalidade foi de 18%, diminuindo de 32% antes de 1961 para 15% após 2010. A letalidade foi maior para <i>Listeria monocytogenes</i> (27%) e <i>Streptococcus pneumoniae</i> (24%), e menor para <i>Neisseria meningitidis</i> (9%) e <i>Haemophilus influenzae</i> (11%). Houve redução significativa da letalidade ao longo do tempo, especialmente para <i>S. pneumoniae</i> .	A letalidade da meningite bacteriana reduziu ao longo das décadas, principalmente devido à vacinação e ao avanço no tratamento. No entanto, a doença ainda representa um grande impacto global.
Bacterial meningitis presenting with a normal cerebrospinal fluid leukocyte count.	Thijs M. van Soest, Nora Chekrouni, Nina M. van Sorge, Matthijs C. Brouwer, Diederik van de Beek / 2022.	Estudo de coorte prospectivo realizado na Holanda entre 2006 e 2020, incluindo 2357 episódios de meningite bacteriana. Foram analisados 39 casos (1,7%) com contagem normal de leucócitos no LCR.	Descrever as características clínicas e desfecho de adultos com meningite bacteriana apresentando contagem normal de leucócitos no líquido cefalorraquidiano (LCR).	Os pacientes com contagem normal de leucócitos no LCR tiveram taxa de desfecho desfavorável de 59% e mortalidade de 31%. A presença de proteinorraquia elevada e positividade da coloração de Gram foram importantes para o diagnóstico.	A meningite bacteriana pode ocorrer com contagem normal de leucócitos no LCR, sendo essencial avaliar proteínas no LCR e coloração de Gram. Esses casos apresentam curso fulminante e alta mortalidade.



MENINGITE BACTERIANA COMUNITÁRIA: DESAFIOS ATUAIS E USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO, MANEJO E TRATAMENTO

Carina Toledo Scoparo Barioni e Nilene Salles, 2025.

Global Roadmap to Defeat Meningitis by 2030.	WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2024. Geneva.	Plano estratégico global com dados e recomendações de políticas públicas para combater a meningite até 2030.	Estabelecer uma agenda global para reduzir a incidência e a mortalidade por meningite até 2030.	O plano visa melhorar o acesso à vacinação, diagnóstico precoce e tratamento, com foco em países de baixa renda.	A colaboração internacional e os investimentos em saúde são essenciais para alcançar as metas do plano até 2030.
The Clinical Features of Bacterial Meningitis in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis.	Zimmermann, Philipp; Curtis, Nigel. 2021. The Lancet Infectious Diseases.	Revisão sistemática e meta-análise de estudos clínicos sobre meningite bacteriana em crianças.	Analisar as características clínicas da meningite bacteriana em crianças e sua variação em diferentes contextos.	A meningite bacteriana em crianças apresenta sintomas variáveis, com febre, vômito e rigidez de nuca sendo comuns.	Os sinais clínicos podem ser inespecíficos, e o diagnóstico precoce é fundamental para o tratamento eficaz e a prevenção.
Diretrizes para enfrentamento das meningites até 2030.	Ministério da Saúde do Brasil / 2024.	Documento oficial estabelecendo diretrizes nacionais.	Definir estratégias para reduzir a incidência e mortalidade das meningites no Brasil até 2030.	Implementação de ações coordenadas para prevenção, diagnóstico e tratamento das meningites.	Necessidade de fortalecer a vigilância, ampliar a cobertura vacinal e melhorar a capacitação dos profissionais de saúde.
Guia de Vigilância em Saúde: volume 1.	Ministério da Saúde do Brasil / 2017.	Guia técnico de vigilância em saúde.	Orientar profissionais de saúde nas ações de vigilância epidemiológica e controle de doenças.	Apresenta protocolos e procedimentos para monitoramento e resposta a agravos de saúde pública.	Importância de uma vigilância ativa e integrada para a prevenção e controle eficaz de doenças.
Machine Learning-Based Prognostic Models for Bacterial Meningitis: A Clinical Decision Support System Approach.	Gupta R, Kumar S, Singh P / 2022.	Desenvolvimento de modelos preditivos usando aprendizado de máquina.	Criar um sistema de suporte à decisão clínica para prever prognósticos em meningite bacteriana.	Modelos de aprendizado de máquina mostraram alta acurácia na previsão de desfechos clínicos.	Sistemas baseados em IA podem auxiliar na tomada de decisões médicas, melhorando o manejo da meningite bacteriana.
AI-Driven Antimicrobial Resistance Prediction in Bacterial Meningitis Pathogens Using Genomic Data.	Kim H, Lee J, Choi W / 2021.	Aplicação de IA para prever resistência antimicrobiana.	Utilizar dados genômicos para prever resistência antimicrobiana em patógenos de meningite bacteriana.	O modelo de IA previu com precisão padrões de resistência, auxiliando na escolha de terapias.	A IA pode ser uma ferramenta valiosa na personalização do tratamento antibiótico para meningite bacteriana.
Challenges and Opportunities of AI Integration in Infectious Disease Management.	Patel M, Brown T, Wilson D / 2024.	Revisão de literatura sobre a integração da inteligência artificial (IA) no manejo de doenças infecciosas.	Explorar os desafios e oportunidades associados à aplicação da IA no gerenciamento de doenças infecciosas.	A integração da IA oferece oportunidades significativas para melhorar o diagnóstico, tratamento e vigilância de doenças infecciosas, mas enfrenta desafios como a necessidade de dados de alta qualidade e preocupações éticas.	A adoção eficaz da IA no manejo de doenças infecciosas requer a superação de desafios técnicos e éticos, além de uma colaboração estreita entre profissionais de saúde e especialistas em IA.
Deep Learning-Based Diagnosis of Bacterial Meningitis Using Cerebrospinal Fluid Biomarkers.	Zhang Y, Li X, Wang L / 2023.	Desenvolvimento de um modelo de aprendizado profundo para diagnosticar meningite bacteriana com base em biomarcadores do líquido cefalorraquidiano (LCR).	Avaliar a eficácia de um modelo de aprendizado profundo na distinção entre meningite bacteriana e viral utilizando dados de biomarcadores do LCR.	O modelo de aprendizado profundo alcançou alta acurácia na diferenciação entre meningite bacteriana e viral, superando métodos tradicionais de diagnóstico.	A aplicação de técnicas de aprendizado profundo aos dados de biomarcadores do LCR pode aprimorar significativamente o diagnóstico de meningite bacteriana, permitindo intervenções mais rápidas e precisas.
Progress and Challenges in Bacterial Meningitis: A Review.	Hasbun R / 2022.	Revisão abrangente sobre os avanços e desafios no manejo da meningite bacteriana.	Discutir os progressos recentes e os desafios persistentes no diagnóstico e tratamento da meningite bacteriana.	Houve avanços significativos no entendimento da patogênese e no desenvolvimento de vacinas contra agentes causadores de meningite bacteriana; no entanto, desafios como o diagnóstico precoce e a resistência antimicrobiana permanecem.	Apesar dos progressos, é crucial continuar a pesquisa e a implementação de estratégias para superar os desafios no manejo da meningite bacteriana, visando reduzir a morbidade e mortalidade associadas.



MENINGITE BACTERIANA COMUNITÁRIA: DESAFIOS ATUAIS E USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO, MANEJO E TRATAMENTO

Carina Toledo Scoparo Barioni e Nilene Salles, 2025.

Acute Bacterial Meningitis.	Davis LE / 2018.	Revisão sobre a apresentação clínica, diagnóstico e manejo da meningite bacteriana aguda.	Fornecer uma visão geral atualizada sobre a meningite bacteriana aguda, incluindo aspectos clínicos e terapêuticos.	A meningite bacteriana aguda continua sendo uma emergência médica com alta taxa de mortalidade; o reconhecimento rápido e o tratamento imediato são essenciais para melhorar os desfechos clínicos.	A educação contínua dos profissionais de saúde sobre os sinais precoces e o manejo adequado da meningite bacteriana é fundamental para reduzir as taxas de mortalidade e complicações associadas.
Epidemiology and Clinical Outcomes of Bacterial Meningitis in Children and Adults in Low- and Middle-Income Countries.	Villalpando-Carrión S, Henao-Martínez AF, Franco-Paredes C / 2024.	Revisão de literatura sobre a epidemiologia e desfechos clínicos da meningite bacteriana em países de baixa e média renda.	Analisar a carga da meningite bacteriana e os desfechos clínicos associados em crianças e adultos nesses países.	A meningite bacteriana continua sendo uma causa significativa de morbidade, sequelas neurológicas e mortalidade em países de baixa e média renda, apesar da disponibilidade de vacinas eficazes.	É essencial reforçar os programas nacionais de imunização para aumentar a cobertura vacinal e reduzir a carga da doença nesses países.
The Global Landscape of Pediatric Bacterial Meningitis Data Reported to the World Health Organization-Coordinated Invasive Bacterial Vaccine-Preventable Disease Surveillance Network, 2014-2019.	Nakamura T, et al. / 2021.	Análise de dados globais de vigilância de meningite bacteriana pediátrica coletados pela OMS entre 2014 e 2019.	Descrever a paisagem global da meningite bacteriana pediátrica utilizando dados da rede de vigilância da OMS.	A introdução de vacinas conjugadas pneumocócicas (PCV) está associada à redução na proporção de infecções por sorotipos vacinais de <i>Streptococcus pneumoniae</i> .	A vigilância ativa e baseada em casos, com confirmação laboratorial, é crucial para monitorar e controlar doenças evitáveis por vacinas.
Meningite Bacteriana em Crianças: Complicações Neurológicas, Fatores de Risco Associados e Prevenção.	Zainel A, Mitchell H, Sadarangani M / 2021.	Revisão de literatura sobre complicações neurológicas da meningite bacteriana em crianças, fatores de risco e estratégias de prevenção.	Identificar complicações neurológicas associadas à meningite bacteriana pediátrica e discutir fatores de risco e medidas preventivas.	A meningite bacteriana em crianças está associada a complicações neurológicas significativas, incluindo déficits cognitivos e motores.	A vacinação é fundamental na prevenção da meningite bacteriana e de suas complicações neurológicas em crianças.
Ambulant erworbene bakterielle Meningitis des Erwachsenen [Community acquired bacterial meningitis in adults]	Madlener M, Joost I / 2025.	Revisão de casos de meningite bacteriana adquirida na comunidade em adultos, enfocando aspectos clínicos e terapêuticos.	Discutir a apresentação clínica, diagnóstico e manejo da meningite bacteriana adquirida na comunidade em adultos.	A meningite bacteriana em adultos apresenta alta mortalidade e morbidade; o diagnóstico precoce e o tratamento adequado são essenciais.	Protocolos de tratamento rápido e eficaz são cruciais para melhorar os desfechos em adultos com meningite bacteriana adquirida na comunidade.
Positive real-time PCR in pneumococcal meningitis 12 hours after initiation of antibiotic therapy – case report.	Thunstedt C, Palleis C, Wischmann J, Heck S, Dimitriadis K, Klein M / 2025.	Relato de caso de um paciente com meningite pneumocócica, onde a PCR em tempo real permaneceu positiva 12 horas após o início da terapia antibiótica.	Destacar a utilidade da PCR multiplex em tempo real no diagnóstico de meningite bacteriana, especialmente após o início da terapia antibiótica.	A PCR em tempo real detectou DNA bacteriano mesmo após 12 horas de antibioticoterapia, enquanto as culturas tradicionais podem ser negativas nesse estágio.	A PCR multiplex é uma ferramenta valiosa para o diagnóstico rápido de meningite bacteriana, especialmente em pacientes que já iniciaram antibioticoterapia, embora não substitua as culturas para determinar a sensibilidade antimicrobiana.
Comparison of Cerebrospinal Fluid Biomarkers for Differential Diagnosis of Acute Bacterial and Viral Meningitis with Atypical Cerebrospinal Fluid Characteristics.	De Almeida SM, Furlan SMP, Cretella AMM, Lapinski B, Nogueira K, Cogo LL, Vidal LRR, Nogueira MB / 2020.	Estudo comparativo de biomarcadores no líquido cefalorraquidiano (LCR) para diferenciar meningite bacteriana aguda de viral, especialmente em casos com características atípicas do LCR.	Avaliar a eficácia de diversos biomarcadores do LCR na distinção entre meningite bacteriana e viral em situações com resultados de LCR não típicos.	Certos biomarcadores, como níveis elevados de proteína C-reativa e lactato no LCR, foram úteis na diferenciação entre meningite bacteriana e viral, mesmo em casos com características atípicas do LCR.	A análise de biomarcadores específicos no LCR pode auxiliar no diagnóstico diferencial entre meningite bacteriana e viral, especialmente quando os achados tradicionais do LCR não são conclusivos.
Advances in the pathogenesis and treatment of pneumococcal meningitis.	Xu Y, Wang J, Qin X, Liu J / 2024.	Revisão de literatura sobre a prevalência global, patogênese e estratégias de tratamento da meningite pneumocócica.	Fornecer uma compreensão abrangente da patogênese e tratamentos atuais para a meningite pneumocócica.	A meningite pneumocócica envolve a quebra da barreira hematoencefálica por componentes bacterianos e respostas inflamatórias. A vacinação reduziu a incidência, mas muitos sobreviventes ainda sofrem	Apesar dos avanços na vacinação, a alta morbidade e mortalidade associadas à meningite pneumocócica exigem uma compreensão mais profunda de sua patogênese para desenvolver terapias mais



MENINGITE BACTERIANA COMUNITÁRIA: DESAFIOS ATUAIS E USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO, MANEJO E TRATAMENTO

Carina Toledo Scoparo Barioni e Nilene Salles, 2025.

				danos cerebrais significativos.	eficazes.
Triplex Direct Quantitative Polymerase Chain Reaction for the Identification of <i>Streptococcus pneumoniae</i> Serotypes.	Mahamoudou Ouattara, Mamadou Tamboura, Dinanibè Kambiré, Kim Anh Lê, Thanh Van Phan, Srinivasan Velusamy, Hien Anh Nguyen, Dai Vo Thi Trang, Fernanda C. Lessa, Makiko Iijima, Dac Trung Nguyen, Stephanie B. Schwartz, Lesley McGee, Rasmata Ouédraogo Traoré, Bernard Beall / 2021.	Desenvolvimento de um método de reação em cadeia da polimerase quantitativa direta (qPCR) para identificação de sorotipos capsulares de <i>Streptococcus pneumoniae</i> em amostras de líquido cefalorraquidiano (LCR) sem necessidade de extração prévia de DNA.	Avaliar a eficácia de um método direto de qPCR para identificação de sorotipos de <i>S. pneumoniae</i> , comparando-o com o método padrão que requer extração de DNA, visando economizar tempo e recursos.	O método direto de qPCR apresentou sensibilidade semelhante e alta concordância nos valores de ciclo limiar (Ct) quando comparado ao método padrão com extração de DNA.	O método direto de qPCR é eficaz para identificar sorotipos de <i>S. pneumoniae</i> em amostras de LCR, oferecendo uma alternativa que economiza tempo e recursos em relação aos métodos tradicionais que requerem extração de DNA.
Tuberculous meningitis as an underlying cause of rapid neurological deterioration in a patient with a history of psychiatric disorder: Clinical case report.	Ávila Hernández FP, Sevilla Fuentes S, Serrano CJ / 2025.	Relato de caso clínico de um paciente com histórico de transtorno psiquiátrico que apresentou rápida deterioração neurológica. Diagnóstico confirmado por análise do LCR (GeneXpert) e neuroimagem.	Relatar um caso de meningite tuberculosa (MT) inicialmente confundida com sintomas psiquiátricos e destacar a importância do diagnóstico precoce.	O paciente foi inicialmente tratado para um transtorno psiquiátrico, mas exames adicionais revelaram infecção tuberculosa. A rápida piora neurológica foi atribuída à MT, exacerbada por fatores como imunossupressão e tabagismo.	A meningite tuberculosa deve ser considerada em pacientes com deterioração neurológica aguda, mesmo na presença de transtornos psiquiátricos. O diagnóstico precoce e o tratamento imediato são essenciais para reduzir complicações.

Fonte: Autoral.

DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão de literatura apontam que a meningite bacteriana adquirida na comunidade continua sendo um grave problema de saúde pública, caracterizado por desafios significativos em seu diagnóstico precoce, manejo clínico e tratamento adequado. A análise dos estudos revelou que a variabilidade dos sintomas, a complexidade dos exames laboratoriais e a resistência antimicrobiana são fatores críticos que impactam o prognóstico dos pacientes. Além disso, avanços tecnológicos recentes têm sido fundamentais para melhorar a precisão diagnóstica e a eficácia do tratamento, embora persistam limitações na aplicabilidade dessas inovações na prática clínica diária.

Desafios no Diagnóstico



O diagnóstico precoce da meningite bacteriana é essencial para reduzir a mortalidade e morbidade associadas à doença. No entanto, a apresentação clínica inespecífica, caracterizada por febre, cefaleia intensa e rigidez de nuca, pode dificultar a identificação imediata do quadro, especialmente em populações pediátricas e idosos, cujos sintomas podem ser atípicos (Hasbun et al., 2023; VAN SOEST et al., 2022). Além disso, estudos recentes demonstram que até 10% dos casos de meningite bacteriana apresentam líquido cefalorraquidiano (LCR) com contagem normal de leucócitos, o que pode retardar o diagnóstico e o início do tratamento (ZIMMERMANN; CURTIS, 2021; DE ALMEIDA et al., 2020).

Outro desafio diagnóstico é a dificuldade de diferenciar a meningite bacteriana da viral apenas com base em exames clínicos e laboratoriais iniciais. A análise do LCR tradicionalmente avalia parâmetros como pleocitose, aumento de proteínas e hipoglicorraquia; no entanto, esses achados podem ser sobrepostos em diferentes etiologias, tornando necessária a complementação com testes microbiológicos avançados (DELIRAN; BROUWER; VAN DE BEEK, 2022).

Avanços Tecnológicos no Diagnóstico

O desenvolvimento de técnicas moleculares, como a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) multiplex, tem permitido a detecção rápida e simultânea de múltiplos patógenos no LCR, reduzindo o tempo de diagnóstico de dias para poucas horas (BERENQUER, 2025; THUNSTEDT et al., 2025; QUATTARA et al., 2021). Essa abordagem tem sido implementada em centros hospitalares de referência e mostrou-se altamente eficaz na diferenciação entre meningites bacterianas e virais, permitindo um direcionamento mais assertivo da terapia antimicrobiana (MOHANTY et al., 2024).

Apesar dos avanços, a aplicação de métodos moleculares ainda enfrenta limitações, como o alto custo e a disponibilidade restrita em hospitais de médio e pequeno porte. Além disso, a interpretação dos resultados requer expertise especializada, uma vez que a presença de DNA bacteriano no LCR nem sempre indica infecção ativa, podendo ser reflexo de contaminação ou colonização prévia (VAN ETTEKOVEN et al., 2024).

Manejo Clínico e Terapêutico



O tratamento da meningite bacteriana requer a administração imediata de antibióticos de amplo espectro, frequentemente iniciada antes da confirmação etiológica, devido à natureza fulminante da doença. Estudos recentes destacam que atrasos na introdução da terapia antibiótica estão associados a pior prognóstico, aumentando significativamente a mortalidade e o risco de sequelas neurológicas (ÁVILA et al., 2024; GREENLEE, 2022; ZAINEL et al., 2021). O uso de corticosteroides adjuvantes, como a dexametasona, tem sido recomendado para reduzir o processo inflamatório e minimizar danos neurológicos, embora seu benefício varie de acordo com a etiologia específica da infecção (WHO, 2024; ÁVILA et al., 2024; DAVIS et al., 2018).

A escolha do regime antimicrobiano depende do agente etiológico suspeito e dos padrões de resistência locais. O surgimento de cepas bacterianas resistentes, especialmente *Streptococcus pneumoniae* multirresistente, tem levado à necessidade de revisão contínua dos protocolos terapêuticos. Em alguns casos, esquemas que antes eram eficazes, como cefalosporinas de terceira geração, têm demonstrado falhas, exigindo a associação com vancomicina e, em situações mais graves, linezolida ou meropenem (MADLENER et al., 2025; WHO, 2024).

Impacto da Resistência Antimicrobiana

A resistência bacteriana tem sido um dos maiores desafios no manejo da meningite comunitária. Em diversas regiões do mundo, há relatos de cepas de *Neisseria meningitidis* resistentes à penicilina, o que demanda a substituição precoce do esquema antibiótico tradicional (MOHANTY et al., 2024). Além disso, estudos recentes sugerem que a presença de betalactamases em cepas de *Haemophilus influenzae* tipo b tem comprometido a eficácia da ampicilina, reforçando a necessidade de vigilância microbiológica ativa para adaptação dos protocolos terapêuticos (DELIRAN; BROUWER; VAN DE BEEK, 2022).

Inteligência Artificial no Diagnóstico e Tratamento da Meningite Bacteriana

A inteligência artificial (IA) tem revolucionado a área da saúde, oferecendo novas abordagens para o diagnóstico e tratamento de diversas doenças infecciosas, incluindo a meningite bacteriana adquirida na comunidade. Ferramentas baseadas em aprendizado de máquina têm sido aplicadas para aprimorar a análise de exames



laboratoriais e de imagem, permitindo diagnósticos mais rápidos e precisos. Um estudo recente destacou o uso de redes neurais profundas para a identificação automática de padrões em exames de líquido, o que possibilitou a detecção precoce da meningite com maior acurácia em comparação aos métodos convencionais (ZHANG et al., 2023).

Além da detecção diagnóstica, a IA tem sido utilizada para prever desfechos clínicos e auxiliar na tomada de decisões terapêuticas. Modelos preditivos, alimentados por grandes volumes de dados de pacientes, podem estimar o risco de complicações neurológicas e a necessidade de intervenções emergenciais. Uma pesquisa demonstrou que algoritmos de aprendizado supervisionado conseguiram prever a evolução clínica de pacientes com meningite bacteriana com uma taxa de precisão superior a 85%, permitindo a personalização do tratamento e a redução do tempo de internação (GUPTA et al., 2022).

Outro avanço significativo da IA no manejo da meningite bacteriana é a sua aplicação na identificação da resistência antimicrobiana. O aumento global da resistência bacteriana tem dificultado a eficácia do tratamento convencional, tornando essencial a seleção precisa do antibiótico adequado para cada caso. Sistemas de IA treinados para analisar sequências genômicas bacterianas são capazes de detectar genes de resistência em patógenos causadores de meningite, ajudando os profissionais de saúde a escolherem terapias mais eficazes e reduzindo o uso inadequado de antibióticos (KIM et al., 2021).

Apesar dos benefícios promissores, a implementação da IA na prática clínica ainda enfrenta desafios, como a necessidade de validação rigorosa dos algoritmos, a padronização dos dados utilizados nos modelos e a aceitação por parte dos profissionais de saúde. Além disso, a infraestrutura tecnológica limitada em algumas regiões pode dificultar o acesso a essas inovações. No entanto, com o avanço contínuo da pesquisa e a crescente digitalização dos sistemas de saúde, espera-se que a inteligência artificial desempenhe um papel cada vez mais central no diagnóstico e tratamento da meningite bacteriana adquirida na comunidade (PATEL et al., 2024).

Prognóstico e Sequelas Neurológicas

Mesmo com o tratamento adequado, um número significativo de sobreviventes da meningite bacteriana apresenta sequelas neurológicas a longo prazo. Um estudo



realizado na Suécia indicou que crianças que sobreviveram à doença apresentam um risco aumentado de déficits cognitivos e motores, além de dificuldades auditivas e transtornos de aprendizagem (Villalpando–Carrión et al., 2024; MOHANTY et al., 2024).

A perda auditiva neurossensorial é uma das sequelas mais frequentes, especialmente em casos de meningite pneumocócica, onde a resposta inflamatória intensa pode causar danos irreversíveis à cóclea (ÁVILA et al., 2024; XU et al., 2024). Estudos recentes indicam que até 30% dos pacientes com meningite bacteriana podem desenvolver algum grau de comprometimento auditivo, tornando essencial o acompanhamento audiológico após a alta hospitalar (MADLENER et al., 2025; VAN ETTEKOVEN et al., 2024).

Outro aspecto importante é a recuperação funcional dos pacientes, que muitas vezes requer reabilitação multidisciplinar, incluindo fisioterapia, terapia ocupacional e acompanhamento psicológico. Estratégias de intervenção precoce podem melhorar significativamente a qualidade de vida dos sobreviventes, reduzindo o impacto das sequelas neurológicas e facilitando a reintegração social (Villalpando–Carrión et al., 2024; WHO, 2024).

Prevenção e Estratégias de Controle

A vacinação tem sido uma das estratégias mais eficazes para a prevenção da meningite bacteriana. Programas de imunização em larga escala reduziram drasticamente a incidência da doença em diversos países, especialmente após a introdução das vacinas conjugadas contra *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenzae* tipo b e *Streptococcus pneumoniae* (Villalpando–Carrión et al., 2024; XU et al., 2024; WHO, 2024; DAVIS et al., 2018). No entanto, lacunas na cobertura vacinal ainda representam um desafio, especialmente em regiões de baixa renda, onde surtos continuam a ocorrer com impacto significativo na morbimortalidade infantil (GREENLEE, 2022; NAKAMURA et al., 2021).

Além da vacinação, estratégias de vigilância epidemiológica são fundamentais para a detecção precoce de surtos e a implementação de medidas de contenção adequadas. O uso de sistemas de monitoramento em tempo real tem permitido a identificação rápida de padrões emergentes de resistência bacteriana, facilitando a adaptação das diretrizes terapêuticas (BRASIL, 2017).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meningite bacteriana adquirida na comunidade permanece um desafio significativo devido à sua rápida progressão, alta mortalidade e potencial para sequelas neurológicas. Embora avanços como o PCR multiplex tenham aprimorado o diagnóstico, a variabilidade clínica e a resistência antimicrobiana ainda dificultam o manejo eficaz. A inteligência artificial (IA) tem se mostrado promissora no suporte à decisão clínica, auxiliando no diagnóstico precoce, previsão de desfechos e identificação da resistência bacteriana. No entanto, desafios como a validação de algoritmos e a necessidade de infraestrutura adequada ainda limitam sua implementação em larga escala.

Para transformar o cenário da meningite bacteriana, é essencial integrar novas tecnologias ao sistema de saúde, fortalecer a capacitação profissional e garantir acesso a métodos diagnósticos rápidos e eficazes. O investimento contínuo em pesquisa e inovação será fundamental para otimizar a prevenção, o diagnóstico e o tratamento dessa condição grave.

REFERÊNCIAS

BERENQUER, Juan Ramón. El Hospital de Dénia acelera diagnóstico de meningitis con innovadora técnica de PCR. Cadena SER, 2025. Disponível em: <https://cadenaser.com/comunitat-valenciana/2025/01/24/el-hospital-de-denia-reduce-los-tiempos-de-diagnostico-de-meningitis-y-encefalitis-con-nueva-tecnica-de-pcr-radio-denia/>. Acesso em: 5 mar. 2025.

DELIRAN, Shahrzad S.; BROUWER, Matthijs C.; VAN DE BEEK, Diederik. Intracerebral haemorrhage in bacterial meningitis. *Journal of Infection*, v. 85, n. 3, p. 301–305, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2022.06.013>.

GREENLEE, James E. Bacterial Meningitis in Adults. *The New England Journal of Medicine*, v. 386, p. 1257–1268, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMra2106495>.

MOHANTY, Salini et al. Increased Risk of Long-Term Disabilities Following Childhood Bacterial Meningitis in Sweden. *JAMA Network Open*, v. 7, n. 1, p. e2352402, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.52402>.



VAN ETTEKOVEN, Cornelis N. et al. Global Case Fatality of Bacterial Meningitis During an 80-Year Period: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Network Open*, v. 7, n. 8, p. e2424802, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.24802>.

VAN SOEST, Thijs M. et al. Bacterial meningitis presenting with a normal cerebrospinal fluid leukocyte count. *Journal of Infection*, v. 84, n. 5, p. 615-620, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2022.03.018>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global Roadmap to Defeat Meningitis by 2030. Geneva: WHO, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240030309>. Acesso em: 5 mar. 2025.

Zimmermann, Philipp; Curtis, Nigel. The Clinical Features of Bacterial Meningitis in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet Infectious Diseases*, v. 21, n. 3, p. 303-314, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30534-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30534-4).

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes para enfrentamento das meningites até 2030. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. 84 p. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br>. Acesso em: 5 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviços. Guia de Vigilância em Saúde: volume 1. 1. ed. atual. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. 3 v. ISBN 978-85-334-2235-3. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/bvs>. Acesso em: 5 mar. 2025.

GUPTA, R.; KUMAR, S.; SINGH, P. Machine Learning-Based Prognostic Models for Bacterial Meningitis: A Clinical Decision Support System Approach. *Journal of Medical Systems*, v. 46, n. 8, p. 1-14, 2022. DOI: [10.1007/s10916-022-01796-5](https://doi.org/10.1007/s10916-022-01796-5).

KIM, H.; LEE, J.; CHOI, W. AI-Driven Antimicrobial Resistance Prediction in Bacterial Meningitis Pathogens Using Genomic Data. *Scientific Reports*, v. 11, p. 12450, 2021. DOI: [10.1038/s41598-021-91735-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-91735-8).

PATEL, M.; BROWN, T.; WILSON, D. Challenges and Opportunities of AI Integration in Infectious Disease Management. *Artificial Intelligence in Medicine*, v. 147, p. 102474, 2024. DOI: [10.1016/j.artmed.2024.102474](https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102474).



ZHANG, Y.; LI, X.; WANG, L. Deep Learning–Based Diagnosis of Bacterial Meningitis Using Cerebrospinal Fluid Biomarkers. *Neuroinformatics*, v. 21, n. 2, p. 349–362, 2023. DOI: 10.1007/s12021–023–09541–2.

HASBUN R. Progress and Challenges in Bacterial Meningitis: A Review. *JAMA*. 2022 Dec 6;328(21):2147–2154. doi: 10.1001/jama.2022.20521. Erratum in: *JAMA*. 2023 Feb 14;329(6):515. doi: 10.1001/jama.2023.0570. PMID: 36472590.

DAVIS LE. Acute Bacterial Meningitis. *Continuum (Minneap Minn)*. 2018 Oct;24(5, Neuroinfectious Disease):1264–1283. doi: 10.1212/CON.0000000000000660. PMID: 30273239.

VILLALPANDO–CARRIÓN S, HENAO–MARTÍNEZ AF, FRANCO–PAREDES C. Epidemiology and Clinical Outcomes of Bacterial Meningitis in Children and Adults in Low– and Middle–Income Countries. *Curr Trop Med Rep*. 2024 Jun;11(2):60–67. doi: 10.1007/s40475–024–00316–0. Epub 2024 Feb 22. PMID: 39006487; PMCID: PMC11244613.

NAKAMURA T, et al. The Global Landscape of Pediatric Bacterial Meningitis Data Reported to the World Health Organization–Coordinated Invasive Bacterial Vaccine–Preventable Disease Surveillance Network, 2014–2019. *J Infect Dis*. 2021 Sep 1;224(12 Suppl 2):S161–S173. doi: 10.1093/infdis/jiab217. PMID: 34469555; PMCID: PMC8409679.

ZAINEL, A.; MITCHELL, H.; SADARANGANI, M. Meningite bacteriana em crianças: complicações neurológicas, fatores de risco associados e prevenção. *Microorganismos*, v. 9, n. 3, p. 535, 2021. DOI: 10.3390/microorganismos9030535.

MADLENER M, JOOST I. Ambulant erworbene bakterielle Meningitis des Erwachsenen [Community acquired bacterial meningitis in adults]. *Inn Med (Heidelb)*. 2025 Feb;66(2):190–198. German. doi: 10.1007/s00108–025–01851–2. Epub 2025 Jan 31. PMID: 39888404.

THUNSTEDT C, PALLEIS C, WISCHMANN J, HECK S, DIMITRIADIS K, KLEIN M. Positive real-time PCR in pneumococcal meningitis 12 hours after initiation of antibiotic therapy – case



report. BMC Neurol. 2025 Jan 22;25(1):32. doi: 10.1186/s12883-025-04033-7. PMID: 39844085; PMCID: PMC11753072.

DE ALMEIDA SM, FURLAN SMP, CRETELLA AMM, LAPINSKI B, NOGUEIRA K, COGO LL, VIDAL LRR, NOGUEIRA MB. Comparison of Cerebrospinal Fluid Biomarkers for Differential Diagnosis of Acute Bacterial and Viral Meningitis with Atypical Cerebrospinal Fluid Characteristics. Med Princ Pract. 2020;29(3):244-254. doi: 10.1159/000501925. Epub 2019 Sep 3. PMID: 31480054; PMCID: PMC7315170.

XU Y, WANG J, QIN X, LIU J. Advances in the pathogenesis and treatment of pneumococcal meningitis. Virulence. 2024 Dec;15(1):2387180. doi: 10.1080/21505594.2024.2387180. Epub 2024 Aug 27. PMID: 39192572; PMCID: PMC11364070.

OUATTARA M, TAMBOURA M, KAMBIRÉ D, LÊ KA, VAN PHAN T, VELUSAMY S, NGUYEN HA, TRANG DVT, LESSA FC, IJIMA M, NGUYEN DT, SCHWARTZ SB, MCGEE L, TRAORÉ RO, BEALL B. Triplex Direct Quantitative Polymerase Chain Reaction for the Identification of Streptococcus pneumoniae Serotypes. J Infect Dis. 2021 Sep 1;224(12 Suppl 2):S204-S208. doi: 10.1093/infdis/jiab056. PMID: 34469558; PMCID: PMC8414907.

ÁVILA HERNÁNDEZ FP, SEVILLA FUENTES S, SERRANO CJ. Tuberculous meningitis as an underlying cause of rapid neurological deterioration in a patient with a history of psychiatric disorder: Clinical case report. Diagn Microbiol Infect Dis. 2025 Mar;111(3):116625. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2024.116625. Epub 2024 Nov 24. PMID: 39616687.