

INJÚRIA RENAL POR RABDOMIÓLISE NO POLICIAL MILITAR: UM DESAFIO OCUPACIONAL

THE IMPACT OF KIDNEY INJURY FROM RABDOMYOLYSIS IN MILITARY POLICE OFFICERS: AN OCCUPATIONAL CHALLENGE

EL IMPACTO DE LA LESIÓN RENAL POR RABDOMIÓLISIS EN POLICÍAS MILITARES: UN DESAFÍO OCUPACIONAL

Gabriel Coutinho Inhan¹

Bruna Tarachuk Alves²

RESUMO: A rabdomiólise decorre da necrose das células musculares esqueléticas, com consequente liberação de constituintes intracelulares na circulação, incluindo a mioglobina. Essa liberação pode desencadear manifestações clínicas variadas e complicações sistêmicas, sendo a injúria renal aguda (IRA) uma das mais graves, frequentemente associada a morbimortalidade elevada. Embora amplamente estudada em contextos esportivos, sua ocorrência entre policiais militares permanece pouco abordada. Este estudo revisou os mecanismos fisiopatológicos da rabdomiólise associada à IRA, os fatores de risco ocupacionais e estratégias de prevenção. A análise da literatura indica que traumas, esforço físico intenso, exposição a calor excessivo, desidratação e jornadas prolongadas aumentam significativamente o risco da síndrome. A mioglobina contribui para a injúria renal por meio de vasoconstrição, obstrução tubular e toxicidade direta. Conclui-se que a manutenção da hidratação adequada, o uso de equipamentos de proteção, a revisão de protocolos de treinamento e a intervenção médica precoce são fundamentais para preservar a saúde renal e a capacidade funcional dos policiais militares.

502

Palavras-chave: Rabdomiólise. Injúria Renal Aguda. Policial Militar.

ABSTRACT: Rhabdomyolysis results from necrosis of skeletal muscle cells, leading to the release of intracellular components into the circulation, including myoglobin. This release can trigger a wide range of clinical manifestations and systemic complications, with acute kidney injury (AKI) being one of the most severe, frequently associated with high morbidity and mortality rates. Although widely studied in sports-related contexts, its occurrence among military police officers remains underexplored. This study reviewed the pathophysiological mechanisms of rhabdomyolysis-associated AKI, occupational risk factors, and prevention strategies. Literature analysis indicates that trauma, intense physical exertion, excessive heat exposure, dehydration, and extended work shifts significantly increase the risk of developing the syndrome. Myoglobin contributes to kidney injury through vasoconstriction, tubular obstruction, and direct toxicity. It is concluded that maintaining adequate hydration, using protective equipment, revising training protocols, and promoting early medical intervention are essential to preserving renal health and functional capacity in military police officers.

Keywords: Rhabdomyolysis. Acute Kidney Injury. Military Police Officer.

¹º Tenente da Polícia Militar. Pós-graduado em Musculação e Treinamento Funcional pela Faculdade de Empreendedorismo e Ciências Humanas - FAECH. Bacharel em Segurança Pública e Cidadania pelo Curso de Formação de Oficiais-PM da Academia Policial-Militar do Guatupê. Curso de Formação de Oficiais-PM da Academia Policial-Militar do Guatupê.

²Bacharel em Medicina pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC). Especialista em Clínica Médica e Nefrologia. Hospital Angelina Caron.

RESUMEN: Este artículo revisó los mecanismos fisiopatológicos, los factores de riesgo y propuso estrategias para la prevención y el manejo de la rabdomiólisis en policías militares, basándose en evidencia científica. La rabdomiólisis es un síndrome caracterizado por la destrucción del tejido muscular esquelético y la liberación de sustancias intracelulares, especialmente la mioglobina, que puede ser nefrotóxica y culminar en Lesión Renal Aguda (LRA). Los policías militares, sometidos a esfuerzos físicos intensos en condiciones ambientales adversas, corren un alto riesgo de padecer esta afección. La revisión abordó los mecanismos subyacentes a la rabdomiólisis, los aspectos específicos de la actividad policial que aumentan el riesgo, las consecuencias de la LRA y las estrategias de prevención y manejo terapéutico. El análisis destacó la importancia de una hidratación adecuada, el control de laboratorio, la revisión de los protocolos de entrenamiento, el uso de equipos de protección y la intervención médica temprana. La implementación de medidas preventivas y la concienciación sobre los riesgos son esenciales para proteger la salud renal de los policías militares y garantizar el mantenimiento de la preparación operativa.

Palabras clave: Rabdomiólisis. Lesión Renal Aguda. Policía Militar. Salud Renal. Prevención. Manejo Terapéutico.

I INTRODUÇÃO

A atividade do policial militar exige um desempenho físico elevado, frequentemente associado à exposição a temperaturas extremas e ao risco de traumas diretos (STEGERHOEK et al., 2024). Essas condições podem precipitar episódios de rabdomiólise (ESPOSITO et al., 2018), uma síndrome caracterizada pela destruição das fibras musculares esqueléticas e liberação de seu conteúdo intracelular, incluindo mioglobina e enzimas, na circulação, podendo resultar em distúrbios hidroeletrolíticos e injúria renal aguda (ZUTT et al., 2014).

503

A identificação precoce da rabdomiólise e a intervenção rápida são essenciais para evitar a progressão para a Injúria Renal Aguda (IRA), uma das complicações mais graves, frequentemente associada a desfechos de morbimortalidade (NETO et al., 2018).

A IRA, além de afetar a função renal, pode comprometer a saúde global e a operacionalidade dos profissionais militares (SILVA et al., 2021). Apesar de amplamente estudada em modalidades esportivas, sua ocorrência no contexto ocupacional destes profissionais é pouco abordada (SILVA et al., 2021).

Dentre as complicações sistêmicas da rabdomiólise, a mais comum e grave é a IRA, cuja incidência varia de 13% a aproximadamente 50%, podendo chegar a 81% em formas graves, sendo que cerca de 26% dos acometidos podem necessitar de terapia de substituição renal (GUPTA et al., 2021).

A mortalidade da síndrome pode chegar a 50% em pacientes com IRA estágio 3 (GUPTA et al., 2021). Um estudo brasileiro, com uma coorte de 3.082 pacientes, estimou que, de cada 100 indivíduos que iniciam hemodiálise, aproximadamente 51 permanecem vivos após cinco anos de tratamento (MATOS et al., 2011).

Ademais, é importante destacar que, conforme Rawson et al. (2017), estudos revelam a ocorrência de diversos casos de rabdomiólise em treinamentos militares, evidenciando que essa população tem sido um foco de investigação sobre a doença e suas implicações.

Neste contexto, este estudo visa analisar a rabdomiólise como um desafio ocupacional para policiais militares, revisando seus mecanismos fisiopatológicos associados à IRA, os fatores de risco intrínsecos e extrínsecos na atividade policial e as estratégias de prevenção.

A hipótese central é que a interação sinérgica de estressores ocupacionais, ambientais e predisposições específicas dos policiais militares, resulta em um perfil de risco amplificado para o desenvolvimento de rabdomiólise e IRA, exigindo estratégias de prevenção específicas para essa população.

Compreender esses mecanismos e adotar estratégias preventivas adequadas é fundamental para reduzir a incidência e a gravidade dos danos renais, protegendo a saúde e a prontidão operacional desses profissionais.

2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

504

Analisar o impacto da injúria renal decorrente da rabdomiólise, correlacionando os fatores de risco ocupacionais e estratégias de prevenção relacionados à atividade do policial militar.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar os mecanismos fisiopatológicos que caracterizam a rabdomiólise e sua potencial progressão para injúria renal aguda;
- b) Identificar os fatores de risco intrínsecos (como predisposições genéticas e condições prévias de saúde) e extrínsecos (como traumas, calor extremo, esforço físico e desidratação) relacionados à atividade policial militar;
- c) Abordar as manifestações e complicações da injúria renal aguda decorrente da rabdomiólise;
- d) Propor e discutir intervenções preventivas para mitigar os riscos e danos da rabdomiólise em policiais militares.

2.2 METODOLOGIA

Este estudo foi elaborado com base na metodologia de pesquisa de revisão bibliográfica, caracterizada pelo levantamento sistemático e análise crítica de produções científicas existentes, visando construir um referencial teórico consistente (GIL, 2008).

O referido método permitiu a síntese de evidências de estudos diversos, proporcionando uma compreensão abrangente do fenômeno da rabdomiólise, com implicações específicas no público militar.

2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está estruturado em seis seções principais, organizadas de forma sequencial e complementar, visando uma exploração aprofundada do tema da rabdomiólise e injúria renal:

Seção 3: Explora a complexa cadeia de eventos moleculares e celulares que levam à lesão muscular e ao potencial dano renal.

Seção 4: Aborda os fatores de risco intrínsecos e extrínsecos, as condições ambientais, os traumas diretos e os fatores iatrogênicos que tornam essa população particularmente suscetível à rabdomiólise.

Seção 5: Explora as manifestações agudas, as complicações cardiovasculares, a necessidade de terapias de suporte e as consequências a longo prazo da IRA para a saúde e capacidade operacional dos policiais.

Seção 6: Detalha abordagens preventivas (primária e secundária), combinando ações individuais e institucionais para proteger a saúde renal do público militar.

Seção 7: Discute as contribuições científicas, as implicações para políticas de saúde ocupacional, as limitações do presente trabalho e sugere direções para pesquisas futuras.

Seção 8: Sintetiza os achados principais, reforça a importância da implementação de medidas preventivas e o impacto do estudo na saúde e prontidão operacional dos militares.

3 MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS DA RABDOMIÓLISE

De acordo com Braithwaite et al. (2023), os miócitos correspondem às células musculares que promovem a contração, sendo subdivididos em esqueléticos, cardíacos e lisos, cada qual com características estruturais e funcionais particulares. A rabdomiólise é definida como dano patológico aos miócitos do músculo esquelético, levando à liberação de constituintes

intracelulares potencialmente tóxicos para a circulação, entre eles a mioglobina e a creatinofosfoquinase (CPK) (HUERTA et al., 2004). Essa descarga maciça de elementos celulares na corrente sanguínea desencadeia uma complexa cascata fisiopatológica, frequentemente associada ao desenvolvimento de Injúria Renal Aguda (IRA) (TORRES et al., 2015).

Independentemente da causa da rabdomiólise, os eventos fisiopatológicos seguem uma via comum (ZUTT et al., 2014). Essa patogênese envolve, primariamente, a lesão direta da membrana plasmática do miócito e a depleção de adenosina trifosfato (ATP) dentro da célula muscular (BOSCH et al., 2009).

3.1 LESÃO MUSCULAR INICIAL

A lesão da membrana muscular pode ser causada por fatores mecânicos (compressão), tóxicos ou energéticos (isquemia) (MALINOSKI et al., 2004). A isquemia muscular, comum em eventos traumáticos ou de esforço extenuante, leva ao metabolismo anaeróbico e à diminuição do ATP, essencial para as bombas iônicas Na^+/K^+ -ATPase e Ca^{2+} -ATPase (BOSCH et al., 2009; ZUTT et al., 2014).

A falha das bombas iônicas dependentes de ATP, como a Na^+/K^+ -ATPase, compromete a homeostase iônica, levando à entrada excessiva de sódio e, secundariamente, ocorre um aumento desregulado e persistente da concentração de cálcio intracelular (MALINOSKI et al., 2004). Este influxo excessivo de cálcio ativa proteases dependentes de Ca^{2+} e fosfolipases (TORRES et al., 2015), além de proteases neutras citoplasmáticas e fosforilases (MALINOSKI et al., 2004).

Tais enzimas atuam na degradação das proteínas miofibrilares e das membranas celulares (MALINOSKI et al., 2004), processo que culmina na necrose das fibras musculares e na subsequente liberação de seu conteúdo para o espaço extracelular e a corrente sanguínea (TORRES et al., 2015).

3.2 TOXICIDADE DA MIOGLOBINA

A IRA é a complicação mais grave da rabdomiólise, com patogênese multifatorial que inclui obstrução tubular, toxicidade direta e vasoconstrição renal (BOSCH et al., 2009; MCMAHON et al., 2013). A mioglobina, livremente filtrada pelos glomérulos, concentra-se nos túbulos renais à medida que a água é reabsorvida (VANHOLDER et al., 2000). Combinado

com o pH ácido da urina, a mioglobina precipita com a proteína de Tamm-Horsfall, formando cilindros que causam obstrução mecânica (BOSCH et al., 2009; ZUTT et al., 2014).

A toxicidade direta da mioglobina é um mecanismo primordial, ocorrendo nos túbulos renais proximais (BOSCH et al., 2009). Em ambiente ácido, a mioglobina se dissocia, liberando ferro livre que catalisa a formação de radicais livres de oxigênio (EROs), induzindo peroxidação lipídica nas membranas celulares tubulares (MALINOSKI et al., 2004). A mioglobina também apresenta atividade semelhante à peroxidase, contribuindo para a oxidação descontrolada de biomoléculas (BOSCH et al., 2009).

3.3 RESPOSTA INFLAMATÓRIA EXACERBADA

A lesão por isquemia-reperfusão, comum em abdomiólise traumática, desencadeia uma resposta inflamatória exacerbada (MALINOSKI et al., 2004; SEVER et al., 2015). Durante a reperfusão, neutrófilos ativados liberam enzimas proteolíticas e geram ácido hipocloroso e EROs, amplificando o dano tecidual (GUPTA et al., 2021; MALINOSKI et al., 2004).

3.4 DISFUNÇÃO MITOCONDRIAL

A disfunção mitocondrial é central na patogênese da lesão do miócito e dos túbulos renais na abdomiólise (ZHANG et al., 2013). A sobrecarga de cálcio intracelular, evento chave, leva ao acúmulo de cálcio nas mitocôndrias, diminuindo a produção de ATP e inibindo a respiração celular (KRUGER e HAN, 2017; MALINOSKI et al., 2004; MCMAHON et al., 2013).

Essa depleção energética agrava o desequilíbrio iônico e, junto com o estresse oxidativo, danifica as membranas celulares e induz a apoptose e necrose (GUPTA et al., 2021; KOCH et al., 2014).

3.5 CICLO VICIOSO DE LESÃO

A abdomiólise configura uma cascata inflamatória autossustentável (TORRES et al., 2015). O insulto inicial (trauma ou depleção de ATP) leva ao influxo de cálcio, ativando enzimas que danificam membranas e mitocôndrias (ZUTT et al., 2014; MALINOSKI et al., 2004). O dano à membrana permite maior influxo de cálcio, e a disfunção mitocondrial agrava a crise energética, criando um ciclo vicioso de destruição celular (GUPTA et al., 2021).

O dano muscular agudo inicia-se com a lise das células musculares esqueléticas (GUPTA et al., 2021), que resulta na liberação de componentes do músculo lesionado para a

circulação (MALINOSKI et al., 2004). Dependendo da gravidade da lesão muscular, pode ocorrer sequestro de grandes volumes de fluido no espaço intersticial, atingindo até 10-12 litros em poucos dias e favorecendo o desenvolvimento de síndrome compartimental (GUPTA et al., 2021). Esse acúmulo de fluidos causa uma depleção do volume intravascular (VANHOLDER et al., 2000), resultando em hipovolemia que é frequentemente a primeira manifestação e pode ser severa no contexto da síndrome do esmagamento (MALINOSKI et al., 2004).

A hipovolemia resultante causa hipoperfusão renal, predispondo à IRA, e agrava a isquemia em músculos já comprometidos (BOSCH et al., 2009). Em compartimentos musculares rígidos, o edema pode causar síndrome compartimental, perpetuando o ciclo de dano sistêmico e local (MCMAHON et al., 2013; MALINOSKI et al., 2004).

4 ASPECTOS ESPECÍFICOS EM POLICIAIS MILITARES

A rotina militar, caracterizada por elevado esforço físico e frequentemente realizada em condições adversas, pode induzir microlesões musculares que, de forma cumulativa, levam à destruição do tecido e à liberação de CPK e mioglobina, favorecendo o desenvolvimento de rabdomiólise, que pode evoluir para IRA (SILVA et al., 2021; HUERTA-ALARDÍN et al., 2004). Silva et al. (2021) enfatizam ainda que essa suscetibilidade é amplificada pela interação entre fatores intrínsecos e extrínsecos, o que reforça seu caráter de desafio ocupacional complexo. 508

4.1 FATOR DE RISCO GERAL E OCUPACIONAL

A rotina profissional é marcada por treinamentos intensos, esforço físico prolongado e alta demanda muscular, os quais se constituem em importantes fatores de risco (SILVA et al., 2021).

Além disso, segundo Sayers et al. (1999), a execução repetitiva de exercícios de alta intensidade, muitas vezes com sobrecarga, pode favorecer o dano muscular. Estudos relatam que a incidência de rabdomiólise é superior em militares em comparação à população civil, evidenciando o impacto ocupacional da atividade (ARMED FORCES HEALTH SURVEILLANCE BRANCH, 2025).

Fatores intrínsecos, como predisposição genética, estado nutricional, nível de condicionamento físico e uso prévio de medicamentos ou suplementos, também interferem na suscetibilidade individual (SILVA et al., 2021; PEREIRA et al., 2019). Quando associados à alta

demanda ocupacional, esses aspectos aumentam a probabilidade de evolução para complicações como a injúria renal aguda (PEREIRA et al., 2019).

Fatores demográficos e genéticos podem aumentar a suscetibilidade à rabdomiólise induzida por esforço; por exemplo, o sexo masculino tem sido associado a um risco significativamente maior dessa condição entre soldados (NELSON et al., 2016). Além disso, fatores genéticos como o traço falciforme elevam o risco de rabdomiólise (NELSON et al., 2016), bem como mutações no gene *CAV3* são uma causa identificada de intolerância ao exercício (SCALCO et al., 2016).

4.2 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A exposição a ambientes de calor intenso é um gatilho significativo para a rabdomiólise em militares (SILVA et al., 2021). O estresse térmico, agravado por vestimentas pesadas e esforço físico, aumenta o risco de desidratação e hipertermia (PÉRIARD et al., 2015).

A hipovolemia pode ser induzida pela exposição a ambientes tanto frios quanto quentes, resultado de um aumento da perda de líquidos (ADAM et al., 2008). Em condições de frio, essa perda ocorre por fatores como diurese, respiração e sudorese, frequentemente amplificada por vestimentas isolantes (ADAM et al., 2008). Similarmente, o estresse por calor também contribui significativamente para a depleção de fluidos (ADAM et al., 2008).

509

4.3 TRAUMAS DIRETOS

Traumas diretos são o mecanismo mais frequente de rabdomiólise traumática (MALINOSKI et al., 2004). Compressão muscular (lesões por esmagamento) e o trauma de isquemia-reperfusão subsequente levam à geração de radicais livres e infiltração de neutrófilos, amplificando a lesão (MALINOSKI et al., 2004; SEVER et al., 2015).

Formas de trauma como espancamentos e posições de estresse forçadas, incluindo o "enforcamento reverso", podem causar necrose muscular extensa e rabdomiólise fatal (MALIK et al., 1993; POLLANEN, 2016).

4.4 FATORES IATROGÊNICOS

O uso de torniquetes por tempo prolongado, tem sido associado ao desenvolvimento de lesão muscular (TÜRKmen et al., 2015). Além disso, fármacos como as estatinas apresentam risco significativo de rabdomiólise induzida por esforço (NELSON et al., 2016; CLARKSON, 2007; HONG e SEQUEIRA, 2000).

Ainda, o consumo excessivo de suplementos proteicos sem monitoramento adequado pode sobrecarregar a função renal, aumentando o risco de complicações musculares e renais (KO et al., 2020).

4.5 COMBINAÇÃO SINÉRGICA

A rabdomiólise em policiais militares raramente decorre de um único fator, sendo geralmente o resultado de uma interação sinérgica entre múltiplos estressores (CLARKSON, 2007). A execução de exercícios extenuantes, especialmente quando associada a estresse térmico, desidratação e fatores intrínsecos como o traço falciforme ou o uso de determinados medicamentos, amplifica significativamente o risco de lesão muscular (NELSON et al., 2016; SAYERS et al., 1999).

Além disso, a presença de infecções virais ou bacterianas subclínicas pode aumentar a suscetibilidade à síndrome, atuando como cofator para o desenvolvimento da rabdomiólise induzida por esforço (CLARKSON, 2007).

5 CONSEQUÊNCIAS DA INJÚRIA RENAL

A Injúria Renal Aguda (IRA) resultante da rabdomiólise é uma complicações grave e temida, com implicações significativas para a saúde do indivíduo (MCMAHON et al., 2013). Suas manifestações podem variar de desequilíbrios eletrolíticos agudos a disfunção sistêmica e progressão para doença renal crônica (HUERTA-ALARDÍN et al., 2004).

5.1 MANIFESTAÇÕES AGUDAS E CARDIOVASCULARES

A manifestação inicial mais evidente da disfunção renal é a alteração do débito urinário, com oligúria ou anúria surgindo 12 a 24 horas após a lesão muscular (MALIK et al., 1993; KRUGER e HAN, 2017). Os pacientes podem apresentar fraqueza generalizada, vômitos, hipertensão, acidose e edema (HUERTA-ALARDÍN et al., 2004). O sequestro de plasma nas extremidades traumatizadas pode levar à hipovolemia e choque (MALINOSKI et al., 2004). Níveis persistentemente elevados de CPK entre 48 e 72 horas após a lesão inicial caracterizam o fenômeno da segunda onda, indicando lesão muscular contínua e maior risco de complicações (TORRES et al., 2015).

A hipercalemia severa, resultante da liberação de potássio do músculo e da excreção renal inadequada, pode resultar em implicações cardiovasculares mais perigosas, podendo levar a arritmias e parada cardíaca (MALINOSKI et al., 2004; ZUTT et al., 2014). A acidose e

hipocalcemia agravam esse risco, com alterações eletrocardiográficas progressivas, como ondas T apiculadas e alargamento do QRS, podendo culminar em fibrilação ventricular ou assistolia (KRUGER e HAN, 2017; VANHOLDER et al., 2000).

Os desfechos da rabdomiólise, como mortalidade ou necessidade de terapia renal substitutiva (TRS), variam amplamente dependendo do contexto clínico e da causa subjacente (MCMAHON et al., 2013).

5.2 NECESSIDADE DE TERAPIA DE SUPORTE

Quando a IRA causa complicações refratárias, a terapia de substituição renal (TSR), como a hemodiálise, é indicada (BOSCH et al., 2009). As indicações incluem acidose metabólica, hipercalemia com risco de vida, manifestações clínicas de uremia e anúria ou oligúria com sobrecarga volêmica (KRUGER e HAN, 2017).

A hemodiálise intermitente convencional é uma modalidade terapêutica eficaz na remoção de solutos urêmicos, incluindo potássio, fosfato (VANHOLDER et al., 2000) e capaz de corrigir as anormalidades eletrolíticas (BOSCH et al., 2009). Contudo, essa técnica não é tão eficaz na remoção da mioglobina circulante devido ao seu grande tamanho molecular (BOSCH et al., 2009; KRUGER e HAN, 2017).

511

5.3 CONSEQUÊNCIAS A LONGO PRAZO E DISFUNÇÃO SISTÊMICA

Embora o prognóstico renal a longo prazo seja geralmente favorável com recuperação da função renal (BOSCH et al., 2009; KRUGER e HAN, 2017), a IRA associada à rabdomiólise por esforço está ligada a um risco futuro de doença renal crônica (DRC) e morte (PRINCE et al., 2015). Sobrevidentes de lesões por esmagamento podem enfrentar deficiências graves e danos neurológicos permanentes (MALINOSKI et al., 2004; VANHOLDER et al., 2000).

A IRA frequentemente acompanha disfunção de outros órgãos (HUERTA-ALARDÍN et al., 2004). Na rabdomiólise, a disfunção hepática é observada em 25% dos pacientes (GUPTA et al., 2021). Outra complicaçāo relevante é a coagulação intravascular disseminada (CIVD), que pode ser desencadeada pela liberação de tromboplastina tecidual (KRUGER e HAN, 2017; MALINOSKI et al., 2004), podendo se manifestar por hemorragias severas (KRUGER e HAN, 2017).

6 ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO

A prevenção e o manejo da rabdomiólise em policiais militares exigem uma abordagem abrangente e integrada, combinando ações individuais e institucionais baseadas em evidências científicas (CLARKSON, 2007).

6.1 PREVENÇÃO PRIMÁRIA: ABORDAGEM SISTÊMICA

6.1.1 Protocolos de Hidratação Otimizados

A hidratação adequada é um pilar fundamental da prevenção (HUERTA-ALARDÍN et al., 2004). O Exército dos Estados Unidos adota medidas preventivas universais, como programas de aclimatação ao calor e manutenção adequada da hidratação, a fim de reduzir a incidência de rabdomiólise induzida por esforço (NELSON et al., 2016).

Uma das estratégias mais relevantes para reduzir o risco de distúrbios relacionados ao calor e à rabdomiólise é a adequada reposição hídrica (SAWKA et al., 2007). De acordo com as diretrizes do *American College of Sports Medicine*, recomenda-se que os indivíduos iniciem o exercício em estado de euvoolemia, promovendo ingestão de líquidos antes da atividade (SAWKA et al., 2007). Durante o esforço físico, a reposição deve ser realizada em intervalos regulares, com volumes ajustados à taxa de sudorese individual, a fim de evitar tanto a desidratação significativa quanto a hiponatremia dilucional (SAWKA et al., 2007). Após o exercício, orienta-se que a ingestão de líquidos exceda as perdas hídricas, preferencialmente associada a eletrólitos, para garantir a completa recuperação do equilíbrio hidroeletrolítico (SAWKA et al., 2007).

512

6.1.2 Modificações Ambientais e Equipamentos

A aclimatação ao calor constitui um processo fisiológico fundamental para reduzir a sobrecarga cardiovascular e termorregulatória, aumentando a tolerância e o desempenho em ambientes quentes (PÉRIARD et al., 2015). Para alcançar tais adaptações, recomenda-se um período de 10 a 14 dias de exposição progressiva ao calor, seja por meio de exercícios com intensidade constante ou autorregulada, lembrando que o treinamento de resistência em climas temperados também contribui para a melhora da capacidade física em condições térmicas adversas (PÉRIARD et al., 2015).

A utilização de equipamentos de proteção individual adequados pode reduzir a ocorrência de traumas musculares diretos, prevenindo a liberação de conteúdo miocelular e minimizando o risco de rabdomiólise (TORRES et al., 2015). Entretanto, o uso de equipamentos

excessivamente pesados durante atividades físicas ou operações também representa um fator de risco adicional, podendo aumentar a sobrecarga muscular (KRUGER e HAN, 2017).

6.1.3 Modificação de Fatores de Risco Individuais

Fatores como tabagismo, índice de massa corporal elevado e o uso de medicamentos como estatinas e agentes antipsicóticos estão associados a um risco aumentado de desenvolvimento de rabdomiólise (GRIGORIAN et al., 2020; NELSON et al., 2016).

A identificação de gatilhos agudos, como infecções virais ou bacterianas (CLARKSON, 2007; SAYERS et al., 1999), bem como de predisposições genéticas, incluindo mutações no gene CAV3 (SCALCO et al., 2016) e o traço falciforme, pode orientar estratégias preventivas e reduzir a incidência da síndrome (NELSON et al., 2016; SAYERS et al., 1999).

6.2 PREVENÇÃO SECUNDÁRIA: DETECÇÃO PRECOCE

A prevenção secundária da rabdomiólise concentra-se na identificação da causa após um primeiro episódio, visando evitar recorrências, especialmente quando há suspeita de predisposição hereditária (ZUTT et al., 2014).

Em casos sem fator precipitante evidente, recomenda-se uma avaliação detalhada, 513 incluindo análise genética, para identificar condições subjacentes que aumentem a suscetibilidade à lesão muscular (ZUTT et al., 2014).

A detecção precoce de danos musculares e renais na rabdomiólise é viabilizada pela realização de exames laboratoriais. A creatinofosfoquinase (CPK) e a creatinina sérica são, por exemplo, parâmetros fundamentais utilizados na avaliação de pacientes hospitalizados (MELLI et al., 2005). Adicionalmente, a medição dos eletrólitos é recomendada como parte do manejo, sendo que seu monitoramento frequente é crucial para uma boa evolução (BOSCH et al., 2009).

Além disso, existe um escore de risco desenvolvido por McMahon e colaboradores, que utiliza variáveis clínicas e laboratoriais iniciais para prever a necessidade de terapia de substituição renal e o risco de mortalidade, auxiliando na estratificação do paciente (MCMAHON et al., 2013).

7 PERSPECTIVAS E IMPLICAÇÕES DO ESTUDO

Ao relacionar informações sobre a rabdomiólise na população de policiais militares, eleva a conscientização sobre um risco de saúde frequentemente subestimado, mas diretamente impactado pela natureza da profissão.

A revisão detalhada dos mecanismos fisiopatológicos, dos fatores de risco e das consequências da injúria renal, aliada às estratégias de prevenção, serve como um recurso valioso para os Comandantes e os próprios policiais. Este trabalho pode subsidiar a formulação de diretrizes de treinamento mais seguras e a implementação de protocolos de saúde preventiva.

A proposição de algoritmos diagnósticos pode otimizar a detecção precoce e a estratificação de risco, permitindo intervenções mais ágeis e personalizadas. Além disso, a sistematização de protocolos preventivos fortalece a capacidade de resposta das instituições militares diante dessa condição.

7.1 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS DE SAÚDE OCUPACIONAL

Os resultados deste estudo têm implicações diretas para as políticas de saúde ocupacional em corporações militares. A constatação de que o traço falciforme, mutação do gene CAV3 (NELSON et al., 2016; SCALCO et al., 2016) e o IMC elevado (GRIGORIAN et al., 2020) são fatores de risco significativos sugere a necessidade de implementar programas de triagem e monitoramento aprimorados para policiais com essas características.

Outrossim, as instituições devem reforçar a aplicação de precauções universais para mitigar os riscos de doenças relacionadas ao calor e ao esforço (NELSON et al., 2016).

514

7.2 LIMITAÇÕES E VIESES POTENCIAIS

É fundamental reconhecer as limitações inerentes a uma pesquisa de revisão bibliográfica. Este estudo não envolveu coleta de dados primários, como levantamentos epidemiológicos na Polícia Militar do Paraná (PMSP) ou estudos de intervenção, o que impede a inferência de causalidade ou a avaliação da prevalência exata da rabdomiólise nesta corporação específica.

As conclusões são baseadas na síntese e análise de literatura existente, que pode ter suas próprias limitações. A generalização dos achados pode necessitar de validação em diferentes contextos geográficos e operacionais dentro das forças policiais. A heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos, o possível viés de publicação e a limitação temporal da busca bibliográfica são outros pontos a serem considerados.

Neste mesmo contexto, vale destacar que pesquisas futuras poderiam preencher as lacunas anteriormente elencadas, proporcionando dados cruciais para o desenvolvimento de políticas de saúde ocupacional mais robustas e personalizadas para os policiais militares.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A rabdomiólise representa um risco significativo para policiais militares, não apenas pelo potencial de desencadear Injúria Renal Aguda (IRA), mas também pelas complicações sistêmicas que podem comprometer a saúde a longo prazo e a capacidade operacional. A adoção rigorosa de medidas preventivas, aliada à identificação e intervenção precoces, é essencial para minimizar a morbidade nessa população.

A revisão constante dos protocolos de treinamento, combinada com a educação e o monitoramento contínuo da saúde dos profissionais, contribui de forma crucial para a preservação da função renal e para a manutenção da prontidão operacional.

Este estudo consolida a rabdomiólise e a injúria renal subsequente como desafios ocupacionais relevantes para policiais militares. Ao apresentar uma visão abrangente dos mecanismos fisiopatológicos, fatores de risco e estratégias preventivas, fornece base para a elaboração de programas de treinamento, protocolos de saúde mais eficazes e estimula a realização de pesquisas futuras.

A implementação dessas medidas tem potencial para reduzir a incidência e a gravidade da síndrome, preservando a saúde do efetivo, diminuindo custos hospitalares e garantindo a prontidão operacional da força policial.

515

REFERÊNCIAS

ADAM, Gina E. et al. Hydration effects on cognitive performance during military tasks in temperate and cold environments. *Physiology & Behavior*, v. 93, n. 4-5, p. 748-756, mar. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18166204/>. Acesso em: 10 set. 2025.

ARMED FORCES HEALTH SURVEILLANCE BRANCH. Exertional Rhabdomyolysis Among Active Component Members of the U.S. Armed Forces, 2020-2024. *Medical Surveillance Monthly Report*, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 11-16, jun. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40591365/>. Acesso em: 28 set. 2025.

BOSCH, Xavier; POCH, Esteban; GRAU, Josep M. Rhabdomyolysis and Acute Kidney Injury. *New England Journal of Medicine*, v. 361, n. 1, p. 62-72, 2 jul. 2009. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra0801327>. Acesso em: 9 set. 2025.

BRAITHWAITE, Johann; et al. Physiology, Muscle Myocyte. *StatPearls Publishing LLC*, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31334945/>. Acesso em: 22 set. 2025.

CLARKSON, Priscilla M. Exertional Rhabdomyolysis and Acute Renal Failure in Marathon Runners: *Sports Medicine*, v. 37, n. 4, p. 361-363, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17465608/>. Acesso em: 20 set. 2025.

ESPOSITO, Pasquale; ESTIENNE, Luca; SERPIERI, Nicoletta; PEVERELLI, Lorenzo; BIANZINA, Stefania; RAMPINO, Teresa. Rhabdomyolysis-Associated Acute Kidney Injury. *American Journal of Kidney Diseases*, [S.l.], v. 71, n. 6, p. A12-A14, jun. 2018. Disponível: [https://www.ajkd.org/article/S0272-6386\(18\)30549-3/fulltext](https://www.ajkd.org/article/S0272-6386(18)30549-3/fulltext). Acesso em: 22 set. 2025.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRIGORIAN, Areg *et al.* Black Race and Body Mass Index Are Risk Factors for Rhabdomyolysis and Acute Kidney Injury in Trauma. *Journal of Investigative Surgery*, v. 33, n. 3, p. 283-290, 15 mar. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30212225/>. Acesso em: 8 set. 2025.

GUPTA, Ankur; THORSON, Peter; PENMATSA, Krishnam R.; GUPTA, Pritam. Rhabdomyolysis: Revisited. *The Ulster Medical Journal*, v. 90, n. 2, p. 61-69, mar. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34276082/>. Acesso em: 19 set. 2025

HONG, Raymond; SEQUEIRA, Winston. Rhabdomyolysis in a Patient Taking Simvastatin after Addition of Cyclosporine Therapy. *Journal of Clinical Rheumatology*, v. 6, n. 6, dez. 2000. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19078494/>. Acesso em: 19 set. 2025.

HUERTA-ALARDÍN, A. L.; VARON, J.; MARIK, P. E. Bench-to-bedside review: Rhabdomyolysis: an overview for clinicians. *Critical Care*, v. 9, n. 2, p. 158-169, 2004. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1175909/>. Acesso em: 28 set. 2025.

KO, Gang-Jee; RHEE, Connie M.; KALANTAR-ZADEH, Kamyar; JOSHI, Shivam. The effects of high-protein diets on kidney health and longevity. *Journal of the American Society of Nephrology*, v. 31, n. 8, p. 1667-1679, ago. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32669325/>. Acesso em: 28 set. 2025.

516

KOCH, A. J.; PEREIRA, R.; MACHADO, M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, v. 14, n. 1, p. 68-77, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24583542/>. Acesso em: 19 set. 2025

KRUGER, Danielle; HAN, Joseph. Assessing acquired rhabdomyolysis in adults. *JAAPA*, v. 30, n. 1, p. 20-26, jan. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27941570/>. Acesso em: 20 set. 2025.

MALIK, G. H. *et al.* Acute Renal Failure following Physical Torture. *Nephron*, v. 63, n. 4, p. 434-437, 1993. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8459879/>. Acesso em: 5 set. 2025.

MALINOSKI, Darren J.; SLATER, Matthew S.; MULLINS, Richard J. Crush injury and rhabdomyolysis. *Critical Care Clinics*, v. 20, n. 1, p. 171-192, jan. 2004. Disponível em: [https://www.criticalcare.theclinics.com/article/S0749-0704\(03\)00091-5/abstract](https://www.criticalcare.theclinics.com/article/S0749-0704(03)00091-5/abstract). Acesso em: 20 set. 2025.

MATOS, Jorge Paulo Strogoff de *et al.* Avaliação da sobrevida de cinco anos em hemodiálise no Brasil: uma coorte de 3.082 pacientes incidentes. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 436-441, out./dez. 2011. Disponível em: <https://www.bjnephrology.org/article/avaliacao-da-sobrevida-de-cinco-anos-em-hemodialise-no-brasil-uma-coorte-de-3-082-pacientes-incidentes/>. Acesso em: 28 set. 2025.

MCMAHON, Gearoid. M.; ZENG, Xiaoxi.; WAIKAR, Sushrut. S. A risk score for predicting in-hospital mortality in patients with rhabdomyolysis. *JAMA Internal Medicine*, v. 173, n. 19, p. 1821–1828, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24000014/>. Acesso em: 28 set. 2025.

MELLI, G.; CHAUDHRY, V.; CORNBLATH, D. Rhabdomyolysis: an evaluation of 475 hospitalized patients. *Medicine (Baltimore)*, v. 84, n. 6, p. 377–385, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16267412/>. Acesso em: 28 set. 2025.

NELSON, D. Alan *et al.* Sickle Cell Trait, Rhabdomyolysis, and Mortality among U.S. Army Soldiers. *New England Journal of Medicine*, v. 375, n. 5, p. 435–442, 4 ago. 2016. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1516257>. Acesso em: 18 set. 2025.

NETO, Mário Pastore; GONÇALVES, Rafael Valério; MACHADO, Carla Jorge; RESENDE, Vivian. Fatores associados à variação da creatina fosfoquinase (CPK) em pacientes vítimas de trauma, submetidos à “Onda Vermelha”, com evolução à rhabdomiólise. *Revista CBC*, São Paulo, v. 39, n. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbc/a/XWmJHrVsKfNYBsyfFDTVFCq/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2025

PEREIRA, Flávio; MORAES, Roger; BAVEL, Diogo, LORENZO, Andrea R. Exertional rhabdomyolysis after military training paralleled by systemic microvascular dysfunction and plasma cytokine increase: a case report. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 113, n. 3, p. 468–472, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/KnDs3tz7CD5WDM93SNWGdC/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2025.

517

PÉRIARD, J. D.; RACINAIS, S.; SAWKA, M. N. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, v. 25, n. S1, p. 20–38, jun. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25943654/>. Acesso em: 15 set. 2025.

POLLANEN, Michael S. Fatal rhabdomyolysis after torture by reverse hanging. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, v. 12, n. 2, p. 170–173, jun. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26888609/>. Acesso em: 20 set. 2025.

PRINCE, Lisa K. *et al.* Creatine Kinase, Coenzyme Q10, Race, and Risk of Rhabdomyolysis. *American Journal of Kidney Diseases*, v. 66, n. 3, p. 541–542, set. 2015. Disponível em: [https://www.ajkd.org/article/S0272-6386\(15\)00759-3/fulltext](https://www.ajkd.org/article/S0272-6386(15)00759-3/fulltext). Acesso em: 20 set. 2025.

RAWSON, Eric S.; CLARKSON, Priscilla M.; TARNOPOLSKY, Mark A. Perspectives on Exertional Rhabdomyolysis. *Sports Medicine*, Cham, v. 47, n. suppl 1, p. 33–49, mar. 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5371628/>. Acesso em: 26 set. 2025.

SAWKA, Michael N. *et al.* Exercise and Fluid Replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 39, n. 2, p. 377–390, fev. 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17277604/>. Acesso em: 29 set. 2025.

SAYERS, S. P.; CLARKSON, P. M.; ROUZIER, P. A.; KAMEN, G. Adverse events associated with eccentric exercise protocols: six case studies. *Medicine & Science in Sports &*

Exercise, v. 31, n. 12, p. 1697-1702, dez. 1999. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10613417/>. Acesso em: 20 set. 2025.

SCALCO, Renata Siciliani *et al.* CAV3 mutations causing exercise intolerance, myalgia and rhabdomyolysis: Expanding the phenotypic spectrum of caveolinopathies. **Neuromuscular Disorders**, v. 26, n. 8, p. 504-510, ago. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27312022/>. Acesso em: 15 set. 2025.

SEVER, Mehmet Sukru *et al.* Disaster nephrology: a new concept for an old problem. **Clinical Kidney Journal**, v. 8, n. 3, p. 300-309, jun. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26034592/>. Acesso em: 20 set. 2025.

SILVA, A. C.; GUIMARÃES, T. T.; SILVA, J. M.; GOMES, D. V.; MENDONÇA, C. F.; PESQUERO, J. B.; PALMISANO, G.; MOREIRA, J. C.; PEREIRA, M. D. Rabdomiólise em militares: uma missão de reconhecimento para prevenção. **Ponte Editora JIM**, v. 2, n.1, p. 39 - 51, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351392237_Rabdomiolise_em_militares uma_missa_o_de_reconhecimento_para_prevencao_Military_rhabdomyolysis_a_reconnaissance_mission_for_prevention. Acesso em: 21 set. 2025.

STEGERHOEK, P. *et al.* Risk factors for adverse health in military and law enforcement personnel: an umbrella review. **BMC Public Health**, v. 24, n. 3151, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20553-2>. Acesso em: 22 set. 2025.

TORRES, Patrick A.; HELMSTETTER, John A.; KAYE, Adam M.; KAYE, Alan David. Rhabdomyolysis: Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. **The Ochsner Journal, Academic Division of Ochsner Clinic Foundation**, v. 15, p. 58-69, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25829882/>. Acesso em: 19 set. 2025

518

TÜRKMEN, İsmail; ESENKAYA, İrfan; UNAY, Koray; AKÇAL, Mehmet Akif. Proksimal tibial osteotomi cerrahisinde turnike kullanımı sonrası gelişen rhabdomiyoliz: Olgu sunumu ve literatür taraması. **Acta Orthop Traumatol Turc**, v. 49, n. 3, p. 338-341, 2015. Disponível em: <https://www.aott.org.tr/en/proksimal-tibial-osteotomi-cerrahisinde-turnike-kullanimi-sonrasi-gelisen-rabdomiyoliz-olgu-sunumu-ve-literatu-r-taramasi-133875>. Acesso em: 19 set. 2025.

VANHOLDER, Raymond *et al.* Acute renal failure related to the crush syndrome: towards an era of seismo-nephrology? **Nephrology Dialysis Transplantation**, v. 15, n. 10, p. 1517-1521, 1 out. 2000. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11007816/>. Acesso em: 14 set. 2025.

ZHANG, Dong; WANG, Jia; LIU, Fang; *et al.* Amelioration of rhabdomyolysis-induced renal mitochondrial injury by suppression of dynamin-related protein 1. **Journal of Nephrol**, n. 6, p. 1073-1082, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23553524/>. Acesso em: 22 set. 2025.

ZUTT, R. *et al.* Rhabdomyolysis: Review of the literature. **Neuromuscular Disorders**, v. 24, n. 8, p. 651-659, ago. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24946698/>. Acesso em: 8 set. 2025.