

Revisão Sistemática dos Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) de procedimentos endovasculares toracoabdominais.

Systematic Review of Diagnostic Reference Levels (DRLs) associated with the use of fluoroscopy in thoracoabdominal endovascular procedures.

Afonso Manços Romão¹, ORCID - 0009-0008-2364-2221

João André Felício Pita¹, ORCID -

Fábio Miguel de Melo Nogueira^{1,2}, ORCID - 0000-0002-9419-9385

Cláudia Isabel da Conceição Teles Martins¹, ORCID - 0000-0002-5212-377X

¹ Escola Superior de Saúde de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

² Unidade Local de Saúde de Santa Maria, Lisboa, Portugal

Autor(a) para Correspondência:

Afonso Manços Romão

afonsoromao03@gmail.com

Informação Editorial:

Tipologia: Revisão Sistemática

Data de receção: 11 setembro 2025

Data de aprovação: 23 julho 2026

RESUMO

O uso de fluoroscopia é frequente na abordagem endovascular de aneurismas da aorta toracoabdominal. A definição de Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) é essencial na otimização da dose, sendo baseada em indicadores como o P_{KA} (produto air kerma-área) e o $K_{a,r}$ (air kerma no ponto de referência de entrada do doente). Apesar das exigências europeias/nacionais, persistem dificuldades na sua implementação, e Portugal ainda não definiu NRD nacionais para estes procedimentos. Objetivo: Identificar os NRD de procedimentos endovasculares toracoabdominais na literatura, de acordo com procedimento e equipamento utilizado. Esta revisão sistemática seguiu a metodologia PRISMA e foi registada no PROSPERO. Incluiu artigos de 2015 a 2025 com NRD definidos para procedimentos endovasculares, com dados de $K_{a,r}$ e P_{KA} , conforme o *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) 135. Excluíram-se estudos pediátricos; sem referência ao equipamento ou com limitações metodológicas. A pesquisa desenvolveu-se em bases científicas e literatura cinzenta e a triagem foi realizada na plataforma Rayyan. O viés foi avaliado com a *checklist Joanna Briggs Institute*. Dos 81 artigos identificados, foram incluídos 14 estudos para recolha de dados, depois de considerados livres de viés. Desses, 6 definiram valores típicos,

3 NRD locais e 5 nacionais. 79% dos estudos foram realizados na Europa. A revisão identificou grande variabilidade nos NRD, influenciada por fatores anatômicos, técnicos e clínicos. A otimização técnica mostrou-se essencial para reduzir a exposição, sem comprometer a qualidade de imagem. A ausência de NRD e a falta de padronização reforçam a necessidade de métodos de definição de NRD mais consistentes.

PALAVRAS-CHAVE

NRD; ICRP 135; Fluoroscopia; Patologia Aórtica; Procedimentos endovasculares; Revisão Sistemática

ABSTRACT

The use of fluoroscopy is common in the endovascular management of thoracoabdominal aortic aneurysms. The establishment of Diagnostic Reference Levels (DRLs) is essential for dose optimisation and is based on indicators such as P_{KA} (kerma–area product) and $K_{a,r}$ (air kerma at the patient entrance reference point). Despite european/national requirements, implementation remains challenging, and Portugal has not yet defined national DRLs for these procedures. Objective: To identify DRLs for thoracoabdominal endovascular procedures in the literature, according to procedure type and equipment used. This systematic review followed PRISMA methodology and was registered in PROSPERO. It included articles published between 2015 and 2025 with defined DRLs for endovascular procedures, reporting $K_{a,r}$ and P_{KA} data in accordance with ICRP 135. Studies involving paediatric populations, lacking equipment specification, or with methodological limitations were excluded. The search was conducted across scientific databases and grey literature, and screening was performed using the Rayyan platform. Risk of bias was assessed using the Joanna Briggs Institute checklist. Of 81 articles identified, 14 studies were included after being considered at low risk of bias. Of these, 6 defined typical values, 3 local DRLs, and 5 national DRLs; 79% were conducted in Europe. The review identified variability in DRLs, influenced by anatomical, technical, and clinical factors. Technical optimisation reduced radiation exposure without compromising image quality. The absence of regional DRLs and lack of standardisation highlight the need for more consistent methods..

KEYWORDS

DRL; ICRP 135; Fluoroscopy; Aortic Pathology; Endovascular Procedures; Systematic Review

INTRODUÇÃO

As patologias aórticas são todas as condições que afetam a artéria aorta, podendo ser inflamações, aneurismas, dissecções, estenoses, entre outras alterações estruturais e/ou funcionais da aorta. Um aneurisma arterial define-se como, qualquer dilatação focal que ultrapasse, pelo menos, 50%

do diâmetro normal da artéria, sendo o mais comum, o aneurisma da aorta abdominal (AAA) (1). Em doentes do sexo masculino constitui a 10ª maior causa de mortalidade (2). Estimando-se que em países desenvolvidos, cerca de 2 a 8% dos doentes têm um AAA, correndo o risco de rutura dos mesmos, com taxas de mortalidade acima dos

80%, se não forem intervencionados (3,4). Associados a esta patologia, existem os seguintes fatores de risco: tabagismo, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), hipertensão arterial (HTA), dislipidemia, sexo masculino, idade acima dos 65 anos e história familiar (1,5).

Os procedimentos endovasculares têm vindo a tornar-se o método terapêutico de eleição para aneurismas do arco aórtico, da aorta descendente, abdominal e toracoabdominal, dissecções da aorta, aneurismas e arteriopatias inflamatórias e/ou degenerativas não ateroscleróticas, traumatismos vasculares e síndromes de compressão arterial, quando comparados aos procedimentos cirúrgicos convencionais (1,6). Tendo os procedimentos endovasculares como suporte a fluoroscopia, é imperativo, como em qualquer outro procedimento que envolva o uso de radiação ionizante, estabelecer Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) para cada tipo de procedimento, de acordo com a localização anatómica intervencionada, os dispositivos médicos implantados, os equipamentos imagiológicos utilizados, entre outros fatores que caracterizem o procedimento adotado e a sua complexidade (7). Para estes procedimentos, são principalmente utilizados equipamentos fixos ou equipamentos móveis (arcos em C, que podem ser utilizados na maior parte das salas de intervenção). A exposição à radiação ionizante durante procedimentos endovasculares guiados por fluoroscopia encontra-se associada à possibilidade de ocorrência de efeitos estocásticos e determinísticos, cuja probabilidade depende da quantidade e distribuição da dose de radiação administrada ao doente. Neste contexto, o produto air kerma-área (P_{KA}) constitui um indicador da energia total depositada no doente, estando associado ao risco de efeitos estocásticos, enquanto o air kerma no ponto de referência de

entrada do doente ($K_{a,r}$) representa um indicador do risco de ocorrência de efeitos determinísticos, por apresentar uma boa correlação com o Pico de Dose à Pele (PSD, do inglês, *Peak Skin Dose*), considerado o melhor preditor de reações tecidulares induzidas pela radiação, nomeadamente lesões cutâneas. Apesar da relevância clínica do PSD na avaliação do risco de efeitos determinísticos, a sua determinação, normalmente, não é efetuada na maioria dos equipamentos de fluoroscopia, dada a complexidade do seu cálculo (8), sendo, por esse motivo, o P_{KA} e o $K_{a,r}$ os descritores de dose recomendados para a monitorização da exposição radiológica e para o estabelecimento de NRD em radiologia de intervenção (7).

Os NRD foram definidos pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) como uma “forma de investigação utilizada para a otimização da exposição radiológica dos doentes, em contexto diagnóstico ou de radiologia de intervenção”. De acordo com o ICRP 135 – *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*, os NRD devem ser atualizados de forma regular, não são aplicados de forma individual nem são valores limitantes da exposição radiológica. Em fluoroscopia, devem ser estabelecidos tendo por base o $K_{a,r}$ e o P_{KA} , sendo que qualquer outro descritor de dose não deve ser utilizado para a definição de NRD, uma vez que outros descritores ou parâmetros, como por exemplo, dose absorvida ou dose efetiva, não traduzem o cálculo real de dose neste tipo de procedimentos, visto que este depende de diversos fatores, como por exemplo, biótipo do doente e região anatómica irradiada, sendo que para determinar, com precisão, estes valores seria necessária um cálculo dosimétrico, com software dedicado para o mesmo, já o tempo de exposição ou número de pulsos por segundo/número de cines, são medidas que

influenciam diretamente a dose de radiação, no entanto não podem ser consideradas de forma isolada, pois não a definem totalmente, assim como anteriormente, é necessário considerar fatores como o biótipo do doente ou região anatómica irradiada (7).

Os NRD podem ser classificados através de valores típicos, locais, nacionais ou regionais, tendo por base o número de salas de radiologia de intervenção, de instituições e de equipamentos envolvidos. Para constituir a amostra em procedimentos com recurso a fluoroscopia, é necessário um valor mínimo de 20 procedimentos, no entanto é recomendado que a amostra seja superior a 30 procedimentos, conferindo assim, maior robustez estatística, deve ainda ser considerado o biótipo do doente, sendo que o doente padrão ($70 \pm 10\text{kg}$, ou então, considerar doentes com pesos compreendido entre 50 a 90kg) é o recomendado para formar a amostra (7). Seguindo a seguinte classificação: valores típicos, determinados a partir de um pequeno número de salas e equipamentos (<10), ou quando a tecnologia dos equipamentos é variada; NRD locais, definidos para um número de 10-20 equipamentos de várias instituições numa área próxima; NRD nacionais, constituem uma seleção de algumas instituições que representam um país inteiro; NRD regionais, compostos por diferentes NRD nacionais que compõe um continente (7). Os valores típicos e NRD locais definem-se através do cálculo do percentil 50 (mediana) e do percentil 75 da distribuição dos valores do P_{KA} e $K_{a,r}$. Já os NRD nacionais são definidos através do cálculo do percentil 75 das medianas obtidas nos vários centros do estudo e os NRD regionais através da mediana das medianas dos NRD nacionais selecionados para o estudo (7).

A diretiva europeia 2013/59/Euratom de 5 de dezembro de 2013, que na lei portuguesa está

representada no Decreto-Lei n.º 108/2018 de 3 de dezembro, define as normas de segurança relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes, refere que os estados-membros (onde Portugal está incluído) são responsáveis por estabelecer os NRD em situações de exposição radiológica (9,10). Apesar de exigido por estas entidades a definição de NRD, a realidade é que existe atualmente uma grande dificuldade em estabelecer estes NRD, devido a fatores como a complexidade e diversidade anatómica de cada doente, à variedade de equipamentos, aos diferentes procedimentos realizados, à destreza médica e técnica na realização do procedimento, aos diferentes materiais utilizados, entre outros fatores (7).

Em Portugal, ainda não foram definidos NRD nacionais nestes procedimentos, pela autoridade competente. Deste modo, o objetivo desta revisão sistemática é identificar todos os NRD de procedimentos endovasculares toracoabdominais disponíveis na literatura, com base no tipo de procedimento e tipo de equipamento utilizado, respondendo à questão: “Quais são os Níveis de Referência de Diagnóstico (NRD) publicados para procedimentos endovasculares toracoabdominais, de acordo com o tipo de procedimento e equipamento?”.

METODOLOGIA

Esta revisão sistemática foi desenvolvida tendo por base a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). O protocolo deste estudo foi introduzido na plataforma *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) tendo recebido a referência CRD420251076587. Seguidamente, foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

artigos científicos publicados entre 5 de junho de 2015 e 5 de junho 2025; artigos que possuem NRD definidos para procedimentos endovasculares toracoabdominais guiados por fluoroscopia, tais como *Endovascular Aneurysm Repair* (EVAR), *Thoracic Endovascular Aortic Repair* (TEVAR), *Branched Endovascular Aneurysm Repair* (BEVAR), *Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair* (FEVAR).

Como critérios de exclusão foram definidas as seguintes normas: a população pediátrica estar presente na amostra; estudo não realizado em humanos; os artigos não possuírem descritores P_{KA} e $K_{a,r}$; os valores do P_{KA} e do $K_{a,r}$ não estarem corretamente apresentados de acordo com as normas do ICRP 135, dependendo do tipo de NRD definido (típicos, locais, nacionais e regionais); não

ser apresentado o tipo de equipamento (fixo ou móvel) utilizado nos procedimentos supra enumerados; os NRD disponíveis nos artigos terem sido calculados sem a separação entre equipamentos fixos e móveis; não possuírem o número de doentes intervencionados, utilizados para a definição dos NRD; revisões sistemáticas e estudos de caso.

Os investigadores consultaram as bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Elton Bryson Stephens Company* (EBSCO), no dia 5 de junho de 2025, com recurso a *MeSH Terms*, e na sua inexistência, recorreu-se a descritores de termos gerais (localizados no título, resumo ou palavras-chave). As equações de pesquisa utilizadas para cada base de dados estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações de pesquisa utilizadas nas diferentes bases de dados (tabela elaborada pelos autores).

Base de dados	Equação de pesquisa
PubMed	(((((Diagnostic Reference Levels[MeSH Terms]) OR (Diagnostic Reference Level[Title/Abstract])) OR (DRL[Title/Abstract])) OR (DRLs[Title/Abstract])) AND (((((Endovascular Aneurysm Repair[MeSH Terms]) OR (EVAR[Title/Abstract])) OR (TEVAR[Title/Abstract])) OR (FEVAR[Title/Abstract])) OR (BEVAR[Title/Abstract]))
Scopus	(((TITLE-ABS-KEY (diagnostic AND reference AND levels) OR TITLE-ABS-KEY (diagnostic AND reference AND level) OR TITLE-ABS-KEY (drl) OR TITLE-ABS-KEY (drls))) AND ((TITLE-ABS-KEY (endovascular AND aneurysm AND repair) OR TITLE-ABS-KEY (evar) OR TITLE-ABS-KEY (tevar) OR TITLE-ABS-KEY (fevar) OR TITLE-ABS-KEY (bevar)))
Web of Science	(TS=(Diagnostic Reference Levels) OR TS=(Diagnostic Reference Level) OR TS=(DRL) OR TS=(DRLs)) AND (TS=(Endovascular Aneurysm Repair) OR TS=(EVAR) OR TS=(TEVAR) OR TS=(FEVAR) OR TS=(BEVAR))
EBSCO	((Diagnostic Reference Levels) OR (Diagnostic Reference Level) OR (DRL) OR (DRLs)) AND ((Endovascular Aneurysm Repair) OR (EVAR) OR (TEVAR) OR (FEVAR) OR (BEVAR))
SciELO	((endovascular aneurysm repair) OR (EVAR) OR (TEVAR) OR (FEVAR) OR (BEVAR)) AND ((níveis de referência de diagnóstico) OR (nível de referência de diagnóstico) OR (NRDs) OR (NRD) OR (DRL) OR (DRLs))
Repositório IPL	Foram utilizados os termos: "Diagnostic Reference Levels", "Diagnostic Reference Level", "DRL", "DRLs", "Endovascular Aneurysm Repair", "EVAR", "TEVAR", "FEVAR" e "BEVAR", com a devida utilização dos operadores booleanos "OR" e "AND"
OpenGrey	Foram utilizados os termos: "Diagnostic Reference Levels", "Diagnostic Reference Level", "DRL", "DRLs", "Endovascular Aneurysm Repair", "EVAR", "TEVAR", "FEVAR" e "BEVAR", com a devida utilização dos operadores booleanos "OR" e "AND"
Google Scholar	"Diagnostic Reference Levels" AND "EVAR"

Os filtros de pesquisa aplicados a todas as bases de dados foram a linguagem, onde foram apenas considerados artigos em português e inglês, e o acesso, onde fossem apenas apresentados artigos de acesso gratuito para os autores desta revisão sistemática. Além destes artigos encontrados, foram selecionados outros artigos disponíveis em plataformas de literatura cinzenta, como no Repositório Científico do Instituto Politécnico de Lisboa (RCIPL), no *Google Scholar* e na *OpenGrey*. Os artigos encontrados nesta pesquisa foram inseridos na plataforma "*Rayyan - AI-Powered Tool for Systematic Literature Reviews*" para os revisores 1 e 2 procederem à seleção dos mesmos. Inicialmente, foram removidos os artigos duplicados através da ferramenta "*remove duplicates*". Os dois revisores puderam então, numa primeira fase, analisar os títulos e resumos dos artigos, e selecionar, de forma independente, se os artigos deviam ou não ser incluídos. Os artigos em que a decisão de incluir e excluir não era unânime entre os revisores, foram discutidos entre ambos, tendo-se chegado a uma decisão com a ajuda de um terceiro revisor, com experiência em procedimentos endovasculares. Procedeu-se à análise de segunda fase, com a leitura do texto integral de cada artigo, tendo-se procedido à exclusão de alguns estudos, justificados pelo respetivo critério de exclusão.

Reunidos os artigos para análise, foram retirados os seguintes dados: autores do artigo; mês e ano de publicação; país de publicação; número de doentes de cada grupo utilizado para a definição de P_{KA} e $K_{a,r}$; valor de P_{KA} e $K_{a,r}$; tipo de NRD; tipo de procedimento; equipamento utilizado.

Cada revisor recolheu os dados acima citados, de forma independente, para um documento Excel para MacOS versão 16.95.1 (Microsoft®, Washington, Estados Unidos da América). Os dois documentos foram comparados, pelos dois

revisores, pela procura de dados discordantes. Na presença destas diferenças o terceiro revisor retificou o dado incorretamente recolhido. Neste mesmo documento Excel, os dados obtidos, especificamente os dados numéricos, como o P_{KA} e o $K_{a,r}$, foram convertidos para as unidades de referência descritas no ICRP 135: Gy.cm² e Gy (7). Os dados obtidos, após verificação, foram organizados numa tabela por ordem cronológica. Os dados foram divididos pelo tipo de NRD (típico, local, nacional ou regional). Foi criado um gráfico "mapa-mundo" para observação da dispersão geográfica dos artigos selecionados. Para análise e identificação de viés nos artigos elegíveis para a revisão sistemática, foi discutido e utilizado em simultâneo, por dois revisores, a ferramenta *JBIC Critical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies*, desenvolvida pelo *Joanna Briggs Institute* (12).

RESULTADOS

Na fase inicial de pesquisa de artigos nas bases de dados, foi encontrado um total de 81 artigos, mais especificamente, 7 na *PubMed*, 22 na *Web of Science*, 45 na *Scopus* e 3 na *EBSCO*. Foram também encontrados artigos em plataformas de literatura cinzenta: 1 artigo no Repositório Científico do Instituto Politécnico de Lisboa (RCIPL) e 3 no *Google Scholar*. Não foram encontrados resultados na *SciELO* e na *OpenGrey*. Após a inserção dos artigos na ferramenta *Rayyan*, foram removidos 27 artigos duplicados, ou seja, a análise de 1ª fase foi realizada a 54 artigos. Pela leitura dos títulos e resumos, 36 artigos foram excluídos pelos revisores, sendo coerente a decisão entre ambos. Na análise da 2ª fase, realizada a 18 artigos, foram excluídos 4 artigos (disponíveis na Tabela 2 com a justificação de exclusão) e incluídos 14 para a

síntese quantitativa dos resultados. O processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão está disponível na Figura 1.

Tabela 2 - Artigos excluídos, assim como a razão de exclusão, após a leitura na íntegra dos mesmos (tabela elaborada pelos autores).

Motivo	Autor
A população pediátrica estar presente na amostra	O'Hora <i>et al.</i>
Os artigos não possuem os descritores P_{KA} e $K_{a,r}$	
Não ser apresentado o tipo de equipamento (fixo ou móvel) utilizado nos procedimentos supra enumerados	
Os NRD disponíveis nos artigos terem sido calculados sem a separação entre equipamentos fixos e móveis	Isoardi <i>et al.</i>
Não possuem o número de doentes intervencionados, utilizados para a definição dos NRD	
Revisões sistemáticas e estudos de caso	
Os valores do P_{KA} e do $K_{a,r}$ não estarem corretamente apresentados de acordo com as normas do ICRP-135, dependendo do tipo de NRD definido (típicos, locais, nacionais e regionais).	Del Rio-Solá <i>et al.</i>
Estudo não aplicado em humanos	Hakimi <i>et al.</i>

Na sequência da análise dos 14 artigos, 43% ($n=6$) definiram valores típicos, 21% ($n=3$) definiram NRD locais e 36% ($n=5$) definiram NRD nacionais. Nenhum artigo definiu NRD regionais. Todos os estudos apresentaram valores de P_{KA} , exceto o estudo de Klein *et al.* (13). Já nos valores de $K_{a,r}$, quatro estudos não apresentam valores de $K_{a,r}$ (14–17) e dois estudos não apresentaram os valores de $K_{a,r}$ calculado para o percentil 75 (18,19). Observa-se também que sete artigos (50%) calcularam os NRD para vários grupos de

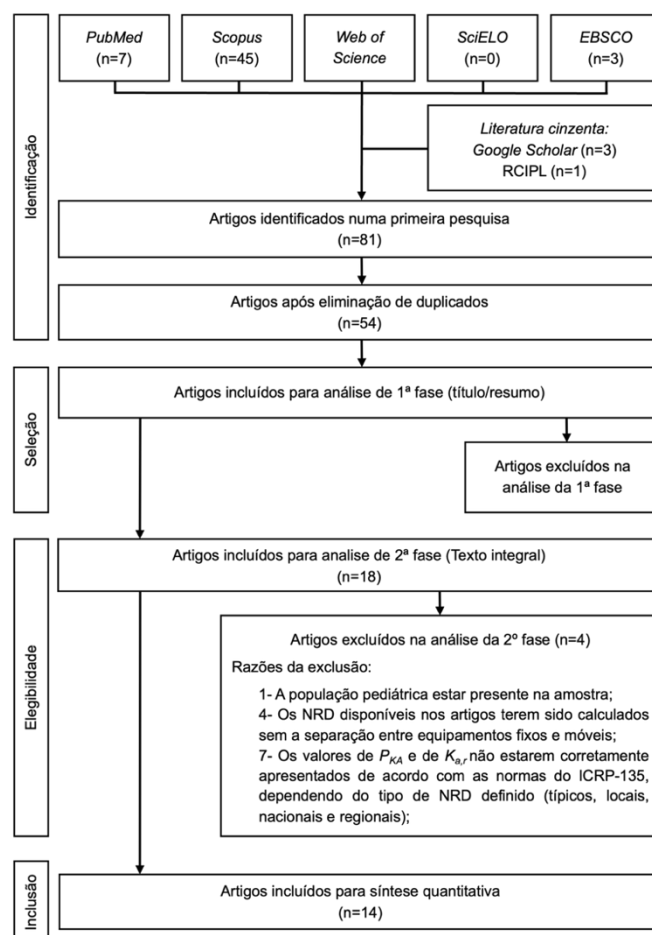


Figura 1 - Fluxograma do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão, de acordo com o método PRISMA (figura elaborada pelos autores).

doentes, estando divididos em função do tipo de equipamento (5,20), do tipo de procedimento (5,18), do sexo (13), calculados para diferentes instituições (19), para diferentes períodos temporais (21) ou até com base nas características anatómicas do doente (22).

Na caracterização geográfica (Figura 2), o continente europeu apresentou o maior número de NRD definidos de acordo com o ICRP 135 ($n=11$ - 79% do total) (7).



Figura 2 - Distribuição geográfica dos artigos selecionados (NRD definidos), com destaque na Europa (figura elaborada pelos autores).

A Tabela 3 apresenta os resultados específicos dos valores típicos. O estudo de Tzanis *et al.* (21) destacou-se por apresentar o maior valor de P_{KA} , com uma mediana de 343,00 Gy.cm2 em relação aos restantes estudos. Já para os valores de $K_{a,r}$, o destaque vai para o estudo de Klein *et al.* (13), com uma mediana de 2,50 Gy. Ainda sobre este estudo, que determina os NRD com base no sexo, o sexo masculino ($n=124$) está associado a um maior valor de $K_{a,r}$ em comparação com o sexo feminino ($n=45$) (mediana: 2,50 Gy vs. 1,67 Gy).

A Tabela 4 apresenta os resultados específicos dos NRD locais. Nogueira (5) definiu os NRD distinguindo procedimentos complexos de EVAR/TEVAR, e o grupo dos complexos apresenta-se dividido em procedimentos realizados em equipamentos fixos e em equipamentos móveis. Neste artigo, destaca-se os

procedimentos complexos realizados no equipamento fixo, com mediana e percentil 75 de 217,94 Gy.cm2 e 345,20 Gy.cm2 de P_{KA} , 1,60 Gy e 2,58 Gy de $K_{a,r}$, respetivamente.

A Tabela 5 apresenta os resultados específicos dos NRD nacionais. Importante destacar que dos 5 artigos apresentados, Mesnard *et al.* (21) possuem os valores mais altos de P_{KA} (410,00 Gy.cm2) e de $K_{a,r}$ (4,90 Gy) em relação aos restantes NRD nacionais. Tsitsiou *et al.* (18) determinaram os NRD em função do procedimento, tendo os procedimentos complexos (FEVAR/BEVAR) apresentado os valores mais altos (266,00 Gy.cm2 e 1,39 Gy) em relação aos outros 2 grupos (EVAR – 162,00 Gy.cm2 e 0,87 Gy; TEVAR – 175,00 Gy.cm2). Rial *et al.* (20) determina os NRD nacionais para equipamentos fixos e móveis, no mesmo procedimento, sendo possível observar

que os equipamentos móveis estão associados a valores mais baixos comparativamente com os equipamentos fixos (87,00 Gy.cm² vs. 278,00 Gy.cm²; 0,29 Gy vs. 1,40 Gy).

Sobre a presença de viés, todos os artigos foram considerados válidos, sendo cada um analisado

ponto a ponto, de forma independente por cada autor e posteriormente cruzados os resultados entre autores, estando os resultados disponíveis na Tabela 6.

Tabela 3 - Valores típicos, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (percentil 75) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA} Mediana (Gy.cm ²)	Valor de $K_{a,r}$ Mediana (Gy)
Tzanis et al.	Outubro de 2023	Grécia	n=46	EVAR	Fixo	343,00	1,29
Efthymiou et al.	Maio de 2021	Grécia	n=87	EVAR	Móvel	25,60	0,32*
Kakkos et al.	Dezembro de 2020	Grécia	n=48	EVAR	Móvel	26,80	ND
Klein et al.	Maio de 2020	Estados Unidos da América	n=45 (F)	FEVAR	Fixo	ND	1,67
			n=124 (M)	FEVAR	Fixo	ND	2,50
Tuthill et al.	Maio de 2017	Irlanda e Itália	n=18	EVAR	Fixo	31,57	0,16*
			n=21	EVAR	Fixo	184,16	0,90*
			n=35	EVAR	Fixo	80,20	0,63*
			n=74	EVAR	Fixo	60,83	0,39*
			n=32	EVAR	Fixo	162,49	0,45*
Heilmaier et al.	Março de 2017	Suíça	n=36	EVAR	Fixo	154,80	1,02

Tabela 4 - NRD locais, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (mediana e percentil 75) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA}		Valor de $K_{a,r}$	
						Mediana (Gy.cm ²)	Percentil 75 (Gy.cm ²)	Mediana (Gy)	Percentil 75 (Gy)
Hadid-Beurrier et al.	Maio de 2021	França	n=159	EVAR	Móvel	41,79	77,58	ND	ND
Tzanis et al.	Maio de 2020	Grécia	n=24	EVAR	Fixo	144,20	196,20	0,85	1,24
			n=35	EVAR	Fixo	160,10	244,60	1,04	1,36
			n=14	EVAR	Fixo	189,50	375,60	1,27	2,28
Nogueira	Janeiro de 2020	Portugal	n=56	EVAR/TEVAR	Móvel	36,15	49,63	0,16*	0,26*
			n=24	FEVAR/BEVAR /IBD/CHEVAR	Móvel	109,00	143,25	0,61*	0,91*
			n=17	FEVAR/BEVAR /IBD/CHEVAR	Fixo	217,94	345,20	1,60*	2,58*

Legenda: ND - Não disponível; * - valor convertido.

Tabela 5 - NRD nacionais, com data de publicação, país, número da amostra, tipo de procedimento, equipamento utilizado, valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ (percentil 75 das medianas) (tabela elaborada pelos autores).

Autores do artigo	Data de publicação	País	Número de doentes de cada grupo	Tipo de procedimento	Equipamento utilizado	Valor de P_{KA}	Valor de $K_{a,r}$
						Percentil 75 das medianas (Gy.cm ²)	Percentil 75 das medianas (Gy)
Mesnard et al.	Fevereiro de 2025	Estados Unidos da América	n=541	FEVAR/BEVAR (2016-2018)	Fixo	410,00	4,90*
			n=1307	FEVAR/BEVAR (2019-2022)	Fixo	340,00	3,80*
Issahaku et al.	Março de 2024	Gana	n=66	EVAR	Fixo	118,80	ND
Markusdottir et al.	Agosto de 2024	Suécia	n=508	EVAR	Fixo	153,00	ND
Tsitsiou et al.	Novembro de 2023	Reino Unido	n=2062	EVAR	Fixo	162,00	0,87*
			n=906	FEVAR/BEVAR	Fixo	266,00	1,39*
			n=509	TEVAR	Fixo	175,00	ND
Rial et al.	Dezembro de 2020	Espanha	n=123	EVAR	Fixo	278,00	1,40*
			n=167	EVAR	Móvel	87,00	0,29*

Legenda: ND - Não disponível; * - valor convertido.

Tabela 6 - Análise de viés realizada, para os 14 artigos incluídos nesta revisão sistemática, através da ferramenta *JBICritical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies*, desenvolvida pelo *Joanna Briggs Institute* (tabela elaborada pelos autores).

JBICRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR ANALYTICAL CROSS SECTIONAL STUDIES Critical Appraisal tools for use in JBI Systematic Reviews		1. Os critérios de inclusão na amostra foram claramente definidos?	2. Os sujeitos do estudo e o contexto foram descritos em detalhe?	3. A exposição foi medida de forma válida e fiável?	4. Foram utilizados critérios objetivos e padronizados para a medição da condição?	5. Foram identificados fatores de confusão?	6. Foram indicadas estratégias para lidar com os fatores de confusão?	7. Os resultados foram determinados de forma válida e fiável?	8. Foi utilizada uma análise estatística apropriada?	Avaliação Geral:	Comentários:
Artigos	Data										
Tsitsiou et al.	Novembro de 2023									Incluído	
Nogueira	Janeiro de 2020									Incluído	
Rial et al.	Dezembro de 2020									Incluído	
Mesnard et al.	Fevereiro de 2025									Incluído	
Efthymiou et al.	Maio de 2021									Incluído	
Tuthill et al.	Maio de 2017									Incluído	
Klein et al.	Maio de 2020									Incluído	
Kakkos et al.	Dezembro de 2020									Incluído	
Issahaku et al.	Março de 2024									Incluído	
Heilmaier et al.	Março de 2017									Incluído	
Hadid-Beurrier et al.	Maio de 2021									Incluído	
Markusdottir et al.	Agosto de 2024									Incluído	
Tzanis et al.	Maio de 2020									Incluído	
Tzanis et al.	Outubro de 2023									Incluído	
Legenda:						Sim					
						Confuso					
						Não					
						Não Aplicável					

DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática identificou NRD disponíveis na literatura, para procedimentos endovasculares toracoabdominais. Os estudos apresentados demonstraram uma grande diversidade de procedimentos, de equipamentos e, principalmente, de valores de NRD. Esta diversidade de valores pode ser justificada por diferentes fatores: relacionados com o doente, como a complexidade anatómica, o biótipo e a severidade da doença; relacionados com a equipa médica, como a experiência na realização do procedimento e os protocolos definidos; relacionados com o equipamento, pela tecnologia do mesmo e pela existência de controlos de qualidade; e por fim, relacionado com o Técnico de Radiologia, como a utilização de parâmetros de exposição, colimação e distância foco-doente adequados.

De acordo com os resultados, a maior parte dos estudos concentrou-se na Europa. Issahaku *et al.* (16) definiram NRD no Gana, sendo o único do continente africano. Já Klein *et al.* (13) e Mesnard *et al.* (21) definiram NRD locais e nacionais, respetivamente, nos Estados Unidos da América. A realidade de Portugal sobre os NRD é distante da realidade dos restantes países da união europeia: apenas um artigo, de Nogueira (5), define os NRD locais de um hospital terciário. É importante consciencializar as diferentes instituições em Portugal de que os NRD são uma ferramenta essencial para se atingir a otimização da exposição radiológica.

O estudo de Mesnard *et al.* (21) foi o único que comparou os NRD no mesmo equipamento, procedimento e instituição, mas em períodos diferentes (2016-2018 e 2019-2022) tendo demonstrado que os dados mais recentes apresentam valores de NRD mais baixos. Este estudo enfatiza a importância da otimização das

práticas clínicas e técnicas, na perspetiva da exposição radiológica. Neste estudo de Mesnard *et al.* (21) é ainda possível verificar os valores mais altos de NRD de todos os artigos selecionados neste estudo, com valores de percentil 75 de P_{KA} e de $K_{a,r}$, de 410,00 Gy.cm² e 4,90 Gy, respetivamente. Stecker *et al.* (23) propõe que, durante um procedimento, a partir de 300 Gy.cm² e 3 Gy deve ser emitida uma primeira notificação, bem como a cada 100 Gy.cm² e 1 Gy. Ultrapassados os 500 Gy.cm² e 5 Gy (valores threshold), o doente deve ser seguido clinicamente, uma vez que podem existir reações cutâneas provocadas pela exposição à radiação.

Valores elevados de NRD podem estar relacionados com os parâmetros técnicos do equipamento, como a utilização de protocolos inadequados, frequência pulsos de fluoroscopia elevada, colimação inadequada, utilização inapropriada dos filtros, exposições desnecessárias (7). Estes fatores demonstram a importância e contribuição que o Técnico de Radiologia tem sobre a otimização da exposição radiológica. Na prática clínica, pequenas estratégias realizadas pelo Técnico podem reduzir a exposição radiológica.

Tanto os valores elevados são preocupantes, como os valores mais baixos. O estudo de Efthymiou *et al.* (24) apresentou o valor mais baixo de P_{KA} e $K_{a,r}$, de todos os estudos desta revisão, com uma mediana de 25,60 Gy.cm² e 0,32 Gy. Tendo por base os valores de todos os outros artigos, pode se questionar se a qualidade de imagem possa estar comprometida. Este artigo apresentou algumas justificações para estes valores, como a experiência elevada da equipa em EVAR, a utilização de modos de fluoroscopia de alta resolução espacial apenas quando necessário e a realização de controlos de qualidade anuais. O ICRP 135 afirma que os NRD devem ser os mais

baixos possíveis, desde que não comprometam a qualidade de imagem, sendo necessário o equilíbrio entre a informação diagnóstica e a otimização da exposição radiológica (7).

O ICRP 135 sugere que os NRD sejam definidos com base na anatomia vascular do doente, nas características da patologia e na severidade da doença (7). O artigo de Tzanis *et al.* (22) determinou os NRD com base na anatomia do doente, assim, utilizou um score que avaliava as tortuosidades das artérias ilíacas, a arquitetura da aorta com aneurisma e a necessidade de procedimentos adicionais (correção de *endoleak*, embolização) tendo estabelecido três grupos (baixa, média e alta complexidade). Os resultados deste estudo demonstraram que com o aumento da complexidade, existe um aumento dos valores de NRD (ex.: baixa, média e alta complexidade – 144,20 Gy.cm², 160,10 Gy.cm² e 189,50 Gy.cm² de mediana de $K_{a,r}$, respetivamente). De todos os artigos analisados, este é o único que considera os níveis complexidade dos procedimentos, para o estabelecimento de NRD, algo fulcral na determinação dos mesmos, pois agrupa os procedimentos, em grupos de procedimentos, com maior semelhança entre si, permitindo assim análises comparativas mais precisas.

Um dos grandes impasses para a definição dos NRD é todo o processo para a obtenção dos mesmos. Requerem análise e recolha de um grande volume de dados e o processamento estatístico desses dados. Alguns artigos definem metodologias para facilitar e agilizar o processo de definição de NRD. Tzanis *et al.* (25) propõe um sistema de *Optical Character Recognition* (OCR), que permite a extração automática dos dados dos relatórios de dose, reúne os dados, calcula medidas de análise estatística descritiva (inclusive a mediana e percentil 75) e obtém assim os valores de NRD.

Nesta revisão sistemática foi identificada como limitação a consideração de procedimentos (*Chimney Endovascular Aneurysm Repair* e EVAR com *Iliac Branch Device*) nos resultados não incluídos inicialmente na metodologia definida pelos autores. Esta decisão foi tomada, dada a relevância dos dados apresentados, uma vez que constituíam parte da única publicação do tema feita em Portugal e os valores destes mesmos procedimentos foram apresentados em conjunto com FEVAR e BEVAR (procedimentos considerados nas metodologias), tornando impossível a apresentação dos mesmos em separado.

Foram identificadas também limitações na literatura publicada, que condicionam os resultados apresentados nesta revisão sistemática. Primeiramente, o facto da maioria da literatura encontrada não definir os NRD de acordo com o ICRP 135, calculando e apresentando valores de P_{KA} e $K_{a,r}$ utilizando conceitos estatísticos errados ou desadequados ao tipo de NRD a estabelecer pelos mesmos. Dada esta limitação, é inviável, a comparação deste tipo de publicações com publicações que respeitem o ICRP 135.

Apesar da existência de várias publicações, algumas apresentam lacunas metodológicas e a maioria limita-se ao continente europeu, tornando-se assim difícil a comparação e partilha de valores com outros continentes. Outra limitação verificada é a inexistência de NRD regionais, que respeitem o ICRP 135 para procedimentos endovasculares toracoabdominais, muito provavelmente devido à dificuldade existente em estabelecer NRD nacionais.

Ainda que seja o melhor preditor de reações tecidulares, dados relativos ao PSD, não se encontram publicados em nenhum artigo, o que acaba por constituir uma limitação para este e qualquer estudo que pretenda analisar e, ou,

definir NRD em procedimentos endovasculares guiados por fluoroscopia, pois estes mesmos procedimentos contemplam diferentes angulações do equipamento e até mesmo a região da pele irradiada, pode variar durante o procedimento (7). Os valores correspondentes ao PSD não são normalmente apresentados nos equipamentos, pois para a estimativa dos mesmos, é necessário, um software de gestão de dose dedicado. Pode também ser alcançado através da reconstrução da distribuição de dose na pele recorrendo aos dados do procedimento, como ângulos, colimação, movimentos da mesa, entre outros, é ainda possível a determinação destes valores recorrendo ao posicionamento de dosímetros na pele do doente (26,27).

CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática identificou e analisou os NRD publicados para procedimentos endovasculares toracoabdominais, destacando a grande variabilidade nos valores obtidos, influenciada por fatores como tipo de procedimento e equipamento. Observou-se a predominância de estudos europeus e a escassez de dados em países como Portugal. A ausência de NRD regionais e a inadequação de algumas publicações às diretrizes do ICRP 135 evidenciam a necessidade de padronização. Os NRD são essenciais para otimizar a exposição radiológica. Destaca-se a importância e necessidade de agrupar os procedimentos por níveis de complexidade, tal como sugerido pelo ICRP 135, algo que praticamente inexistente nas publicações disponíveis e que torna a análise realizada nesta revisão sistemática, tal como noutros estudos, menos comparável, com novos estudos que sigam este importante princípio. A experiência e

formação contínua da equipa neste tipo de procedimentos, como esperado, revela-se bastante importante na otimização de dose, face a equipas com baixa formação ou inexperientes neste tipo de procedimentos.

Verificou-se que equipamentos fixos, doentes do sexo masculino e procedimentos endovasculares complexos, tendem a apresentar valores mais elevados de exposição. Reforça-se a necessidade de padronização metodológica e de mais estudos multicêntricos na definição de NRD. Espera-se que mais instituições adotem práticas baseadas em evidência para estabelecer NRD consistentes e atualizados. Com a definição, publicação, divulgação e implementação de NRD em qualquer tipo de procedimento, mas em especial naqueles que resultam numa exposição mais prolongada e com maiores valores dosimétricos associados, tal como os procedimentos guiados por fluoroscopia, o Técnico de Radiologia inicialmente de forma consciente e a determinado ponto, até de forma inconscientemente torna-se mais alerta aos optimizadores de dose, procurando sempre a redução da mesma, contribuindo assim para a segurança e proteção de todos os elementos presentes e envolvidos nos procedimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernandes JF, Natário A, Matos A, Mansilha A, Moreira C, Oliveira F, et al. Rede de Referência Hospitalar - Angiologia e Cirurgia Vascular. Fevereiro 2017.
2. Coelho A, Lobo M, Gouveia R, Sousa P, Campos J, Augusto R, et al. Aneurisma da aorta abdominal – estudo epidemiológico de doentes tratados num centro por um período de 8 anos com o objetivo de promover o rastreio populacional. Angiologia e Cirurgia Vascular. Setembro de 2016;12(3):187–93. DOI: [10.1016/j.ancv.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.ancv.2016.03.004)
3. Marcaccio CL, Schermerhorn ML. Epidemiology of abdominal aortic aneurysms. Semin Vasc Surg. 1 de março de 2021;34(1):29–37. DOI: [10.1053/j.semvascsurg.2021.02.004](https://doi.org/10.1053/j.semvascsurg.2021.02.004)

4. Kent KC, Zwolak RM, Egorova NN, Riles TS, Manganaro A, Moskowitz AJ, et al. Analysis of risk factors for abdominal aortic aneurysm in a cohort of more than 3 million individuals. *J Vasc Surg.* Setembro de 2010;52(3):539–48. DOI: [10.1016/j.jvs.2010.05.090](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.05.090)
5. Nogueira F. O Técnico de Radiologia no tratamento endovascular das patologias aórticas - especificidades em contexto de Intervenção [Internet]. [Lisboa]: Instituto Politécnico de Lisboa; 2020.
6. Nogueira F. O Técnico de Radiologia no estabelecimento de Níveis de Referência de Dose para os procedimentos endovasculares aórticos. *ROENTGEN-Revista Científica das Técnicas Radiológicas.* 20 de janeiro de 2022;3(1):47–53. DOI: [10.46885/roentgen.v3i1.60](https://doi.org/10.46885/roentgen.v3i1.60)
7. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Clement C, Ogino H, editores. Vol. 46. International Commission on Radiological Protection; maio 2017. DOI: [10.1177/0146645317717209](https://doi.org/10.1177/0146645317717209)
8. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Vol. 42. International Commission on Radiological Protection; fevereiro 2013. DOI: [10.1016/j.icrp.2012.09.001](https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.09.001)
9. Diretiva 2013/59/Euratom do Conselho, de 5 de dezembro de 2013, que fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes, e que revoga as Diretivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom.
10. Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro. Diário da República. 3 de dezembro de 2018.
11. Decreto-Lei n.º 139-D/2023, de 29 de dezembro. Diário da República. 29 de dezembro de 2023.
12. Moola S, Munn Z, Tufunaru C, Aromataris E, Sears K, Sfetec R, et al. Systematic reviews of etiology and risk. Em: *JBIM Manual for Evidence Synthesis* [Internet]. JBI; 2024 [citado 16 de Junho de 2025]. DOI: [10.46658/JBIMES-24-06](https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-06)
13. Klein A, Xi Y, Guild J, Tsai S, Ramanan B, Chamseddin K, et al. The Effects of Gender on Radiation Dose during Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair. *Ann Vasc Surg.* Outubro de 2020;68:305–9. DOI: [10.1016/j.avsg.2020.05.035](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2020.05.035)
14. Hadid-Beurrier L, Dabli D, Royer B, Demonchy M, Le Roy J. Diagnostic reference levels during fluoroscopically guided interventions using mobile C-arms in operating rooms: A national multicentric survey. *Physica Medica.* Junho de 2021;86:91–7. DOI: [10.1016/j.ejmp.2021.05.013](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.05.013)
15. Kakkos SK, Efthymiou FO, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Panayiotakis GS. Factors affecting radiation exposure in endovascular repair of abdominal aortic aneurysms: a pilot study. *International Angiology.* Março de 2021;40(2):125–30. DOI: [10.23736/s0392-9590.20.04508-3](https://doi.org/10.23736/s0392-9590.20.04508-3)
16. Issahaku S, Hasford F, Azantillo N, Sackey TA, Nunoo G, Dzefi-Tetty K, et al. Establishment and utilization of diagnostic reference level for interventional procedures for adult patients in Ghana. *Health Technol (Berl).* 16 de novembro de 2024;14(6):1135–47. DOI: [10.1007/s12553-024-00896-x](https://doi.org/10.1007/s12553-024-00896-x)
17. Markusdottir E, Linden A, Holsti M, Cicek C, Butt T, Strömberg S, et al. Diagnostic reference level for endovascular abdominal aortic aneurysm repair in Sweden. *British Journal of Surgery.* 2 de agosto de 2024;111(Supplement_7). DOI: [10.1093/bjs/znae175.085](https://doi.org/10.1093/bjs/znae175.085)
18. Tsiatsiou Y, Velan B, Ross R, Lakshminarayan R, Rogers A, Hamady M, et al. National UK Survey of Radiation Doses During Endovascular Aortic Interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 1 de janeiro de 2024;47(1):92–100. DOI: [10.1007/s00270-023-03592-x](https://doi.org/10.1007/s00270-023-03592-x)
19. Tuthill E, O'Hara L, O'Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, et al. Investigation of reference levels and radiation dose associated with abdominal EVAR (endovascular aneurysm repair) procedures across several European Centres. *Eur Radiol.* 1 de novembro de 2017;27(11):4846–56. DOI: [10.1007/s00330-017-4791-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-4791-2)
20. Rial R, Vañó E, Del Río-Solá ML, Fernández JM, Sánchez RM, Cambor Santervás LA, et al. National Diagnostic Reference Levels for Endovascular Aneurysm Repair and Optimisation Strategies. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery.* 1 de dezembro de 2020;60(6):837–42. DOI: [10.1016/j.ejvs.2020.08.006](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.08.006)
21. Mesnard T, Huang Y, Schanzer A, Timaran CH, Schneider DB, Mendes BC, et al. Multicenter Prospective Evaluation of Patient Radiation Exposure During Fenestrated-Branched Endovascular Aortic Repair. *Ann Surg.* 18 de fevereiro de 2025. DOI: [10.1097/sla.0000000000006676](https://doi.org/10.1097/sla.0000000000006676)
22. Tzanis E, Ioannou C V., Tsetis D, Lioudaki S, Matthaiou N, Damilakis J. Complexity-based local diagnostic reference levels (DRLs) for standard endovascular aneurysm repair (EVAR) procedures. *Physica Medica.* 1

- de maio de 2020;73:89–94. DOI: [10.1016/j.ejmp.2020.04.015](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.04.015)
23. Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, et al. Guidelines for Patient Radiation Dose Management. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. Julho de 2009;20(7):S263–73. DOI: [10.1016/j.jvir.2009.04.037](https://doi.org/10.1016/j.jvir.2009.04.037)
24. Efthymiou FO, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Kakkos SK, Panayiotakis GS. KERMA-AREA PRODUCT, ENTRANCE SURFACE DOSE AND EFFECTIVE DOSE IN ABDOMINAL ENDOVASCULAR ANEURYSM REPAIR. *Radiat Prot Dosimetry*. 14 de julho de 2021;194(2–3):121–34. DOI: [10.1093/rpd/ncab082](https://doi.org/10.1093/rpd/ncab082)
25. Tzanis E, Damilakis J. A neural network-enhanced methodology for the rapid establishment of local DRLs in interventional radiology: EVAR as a case example. *Physica Medica*. 1 de outubro de 2023;114. DOI: [10.1016/j.ejmp.2023.103140](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2023.103140)
26. Kwon D, Little MP, Miller DL. Reference air kerma and kerma-area product as estimators of peak skin dose for fluoroscopically guided interventions. *Med Phys*. 28 de junho de 2011; 38(7):4196–204. DOI: [10.1118/1.3590358](https://doi.org/10.1118/1.3590358)
27. Jones AK, Pasciak AS. Calculating the peak skin dose resulting from fluoroscopically guided interventions. Part I: Methods. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 15 de novembro de 2011;12(4):3670. doi: [10.1120/jacmp.v12i4.3670](https://doi.org/10.1120/jacmp.v12i4.3670)

