

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор

А.В. Водоватов¹, О.А. Гольченко², И.А. Машенко³, Д.В. Алексеева³,
Л.А. Чипига^{1, 3}, И.В. Хуторной⁴, П.В. Козлова³, Г.Е. Труфанов³, П.С. Дружинина¹,
С.А. Рыжов⁵, И.В. Солдатов⁵

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Городская поликлиника № 19, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Отсутствие в отечественной практике утверждённых методик расчёта и систематизированных данных в отношении доз облучения плода при рентгенорадиологических исследованиях у беременных затрудняет их практическое применение. Данная проблема особенно актуальна для компьютерной томографии как широко распространённого высокоинформативного метода лучевой диагностики, ассоциированного со значительными уровнями облучения пациентов.

Цель — систематизировать существующие данные о поглощённых дозах в плоде при проведении компьютерной томографии.

Материалы и методы. Проведены поиск и анализ публикаций на русском и английском языках. Поиск осуществлялся в системах PubMed/Medline, Google Scholar и eLibrary. В окончательный анализ включено 12 публикаций, в том числе 8 исследований с использованием антропоморфных фантомов, 3 ретроспективных и 1 проспективное клиническое исследование.

Результаты. Наиболее высокие значения поглощённых доз в плоде получены при проведении компьютерных сканирований брюшной полости и малого таза, а также сканировании всего тела. Во включённых в обзор публикациях не зафиксировано превышения предельно допустимой дозы облучения плода.

Заключение. При проведении однократных однофазных компьютерных сканирований у беременных превышение допустимого порога поглощённой дозы 100 мГр в плоде маловероятно независимо от зоны сканирования, что позволяет назначать исследование при наличии клинических показаний. Однако этот порог может быть превышен при многократных или многофазных исследованиях методом компьютерной томографии брюшной полости и малого таза, а также всего тела при травме. В таких случаях мультидисциплинарной командой специалистов по радиационной безопасности (врачи-рентгенологи и клинические специалисты) должна быть проведена дополнительная оценка рисков.

Ключевые слова: беременность; радиационный риск; доза облучения органов; диагностическая визуализация; риск для плода во время беременности; облучение; компьютерная томография; поглощённые дозы в плоде.

Как цитировать

Водоватов А.В., Гольченко О.А., Машенко И.А., Алексеева Д.В., Чипига Л.А., Хуторной И.В., Козлова П.В., Труфанов Г.Е., Дружинина П.С., Рыжов С.А., Солдатов И.В. Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: A systematic review

Alexander V. Vodovатов¹, Olga A. Golchenko², Irina A. Mashchenko³,
Daria V. Alekseeva³, Larisa A. Chipiga^{1, 3}, Ivan V. Khutornoy⁴, Polina V. Kozlova³,
Gennady E. Trufanov³, Polina S. Druzhinina¹, Sergey A. Ryzhov⁵, Ilya V. Soldatov⁵

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation

² City polyclinic № 19, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, no systematic data are available on fetal radiation exposure as a result of radiographic studies during pregnancy. Consequently, there are no approved methods of its calculation that can be used in clinical practice. It is especially relevant for computed tomography scans as it is a widely used and highly informative method of diagnostic imaging associated with high exposure levels.

AIM: to systematize currently available data on radiation dose absorbed by the fetus from computed tomography scans in pregnant women.

MATERIALS AND METHODS: The search for publications in Russian and English was conducted in PubMed/Medline, Google Scholar and eLibrary. The final analysis included 12 papers including 8 studies using human body phantoms, 3 retrospective studies and one prospective clinical study.

RESULTS: Abdominal and pelvic computed tomography scans as well as whole-body scans were found to be associated with the highest fetal radiation exposure. However, in none of the publications the fetal exposure limit was exceeded.

CONCLUSION: Clinically indicated non-contrast-enhanced computed tomography scans in pregnant women are not likely to be associated with the fetal absorbed doses that exceed the limit of 100 mGy regardless of the scanned area. However, this limit might be exceeded in case of performing multiple studies or if multiphase abdominal or pelvic computed tomography scans, or whole-body computed tomography scans are performed in patients with multiple trauma. In these cases, a decision regarding the need for these investigations should be made by a multi-disciplinary team (including radiation safety specialists, diagnostic radiologists and clinicians) based on the results of additional risk assessment.

Keywords: computed tomography scans; pregnancy; radiation risk; organ dose; diagnostic imaging; fetal absorbed dose; fetal risks pregnancy radiation.

To cite this article

Vodovатов AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, Kozlova PV, Trufanov GE, Druzhinina PS, Ryzhov SA, Soldatov IV. Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: a systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Received: 05.06.2023

Accepted: 19.06.2023

Published: 27.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

当对孕妇进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的评估：系统综述

Alexander V. Vodovатов¹, Olga A. Golchenko², Irina A. Mashchenko³,
Daria V. Alekseeva³, Larisa A. Chipiga^{1,3}, Ivan V. Khutornoy⁴, Polina V. Kozlova³,
Gennady E. Trufanov³, Polina S. Druzhinina¹, Sergey A. Ryzhov⁵, Ilya V. Soldatov⁵

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation

² City polyclinic № 19, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

简评

论证。由于在国内实践中缺乏经批准的计算方法和关于当对孕妇进行X线放射检查时胎儿辐射剂量的系统化数据，因此在实践中很难应用这些检查方法。该问题对于电子计算机断层扫描来说尤其重要，因为虽然该这个问题对于电子计算机断层扫描是一种被广泛使用的、信息量大的放射诊断技术，但是与较高病人辐射剂量有关的。

该研究的目的是使现有的关于进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的数据系统化。

材料和方法。对俄文和英文出版物进行了搜索和分析。在PubMed/Medline、Google Scholar和eLibrary系统中进行了搜索。最后的分析包括12份出版物，其中有8项使用拟人模型的研究、3项回顾性研究和1个前瞻性临床研究。

结果。当进行腹部、盆腔和全身电子计算机断层扫描时胎儿吸收的剂量最高。在审查所包括的出版物中，没有关于超过胎儿剂量限制的报告。

结论。无论扫描区域如何，对孕妇进行一次性单相电子计算机断层扫描的时候，超过胎儿吸收剂量限制（100 mGy）是不太可能的，因此，有需要的话，可以对孕妇进行这样的检查。然而，在进行腹部、盆腔或受伤全身的多次或多相电子计算机断层扫描的情况下，会超过这个阈值。在这种情况下，多科目辐射安全小组（放射科医生和临床专家）应该进行额外的风险评估。

关键词：怀孕；辐射风险；器官剂量；诊断成像；怀孕期间的胎儿风险；辐射剂量；电子计算机断层扫描；胎儿吸收的剂量。

引用本文：

Vodovатов AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, Kozlova PV, Trufanov GE, Druzhinina PS, Ryzhov SA, Soldatov IV. 当对孕妇进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的评估：系统综述. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

收到: 05.06.2023

接受: 19.06.2023

发布日期: 27.06.2023

论证

在怀孕期间安全使用放射诊断技术是放射科医生和其他专业医生的首要任务。直到20世纪中期,使用电离辐射源的医学成像技术被广泛用于产科的诊断和治疗,直到出现关于电离辐射对胎儿发育影响的实验和流行病学证据。随后,国际辐射防护委员会制定了一些关于对孕妇使用电离辐射源的规则[1]。

电离辐射的负面效应一般分为两类,即确定性的和随机性的。

确定性效应是指由于辐照超过阈值而造成的细胞的直接损害或死亡。这些效应的发生概率取决于辐射剂量和胎儿的胎龄。对胎儿的主要风险是内脏器官和中枢神经系统(神经紊乱和发育迟缓)的先天性畸形。决定性影响的严重程度与剂量和研究频率成正比。

胎儿对辐射的敏感性取决于胎龄。在器官发育期(胎龄的第5至17周,或受孕后的第3至15周)接触辐射是最危险的。在第二和第三孕期,胎儿对辐射的耐受性增加,但在第二和第三孕期,接受500 mGy以上的剂量也会导致不良影响,包括生长迟缓和畸形[2]。

根据目前的想法,胎儿吸收的剂量不会导致不利影响的阈值是100 mGy[3, 4]。根据国际专业团体(国际辐射防护委员会;美国国家辐射防护与测量委员会;美国放射学会;美国妇产科医师学会)数据,接受50 mGy以下剂量的胎儿中发生自然流产和严重畸形的风险是可以忽略的[3-6]。

随机性效应是指由辐照引起的个别细胞变化,这些变化有可能导致恶性肿瘤。随机性效应没有阈值,关于其发生的风险程度的数据是不明确的[7]。根据美国放射学会的实践指南,除背景发病率外,20 mGy的胎儿吸收剂量对应的癌症风险为1/125[6]。根据国际放射防护委员会的数据,胎儿吸收剂量为30 mGy时,胎儿癌症的风险更低,为1/500。在国内的实践中,还没有进行特殊的研究来评估医疗照射中对胎儿的辐射癌症和遗传影响的风险[8]。

医学成像技术的改进使其在一些危及生命病症的鉴别诊断中的应用越来越多,这就需要对其在孕妇中的使用安全性进行评估。评估医学影像技术在孕妇中的使用安全性的最可靠方法是胎儿辐射量的定量评估。同时,应该专注在如下病理状态上:PTE(肺血栓栓塞症)、主动脉夹层、多发性创伤、尿石症、急性阑尾炎和新型冠状病毒COVID-19感染的肺损伤诊断[9-12]。因为在发生这些病理状态的情况下孕妇最常接受放射检查。

对于孕妇来书,选择成像方式的一个决定性因素是对胎儿的检查安全性[6]。为了减少可能的不利影响的风险,应该采用对孕妇进行辐射防护的建议。不幸的是,目前国内的实践中还缺乏这样的指南。并且,还缺乏关于使用各种医学成像技术所产生的胎儿辐射剂量的国内数据[8]。作者进行了一次系统综述,以总结和分析关于目

前最高剂量的放射治疗技术(电子计算机断层扫描——CT)中的胎儿辐射量数据。

材料和方法

研究设计

根据PRISMA报告标准(2009)进行的系统综述。

文献检索

文献检索来自Pubmed/Medline、Google Scholar和eLibrary书目数据库的科学出版物被作为研究材料。此外,还查阅了现有的国外和国内关于对孕妇进行放射检查的指南。

关键词: CT, pregnancy (怀孕), radiation risk (辐射风险), organ dose (器官剂量), diagnostic imaging (诊断成像), fetal risks pregnancy radiation (怀孕期间接受辐射的胎儿风险), компьютерная томография (电子计算机断层扫描), поглощённые дозы в плоде (胎儿吸收的剂量)。

在对数据库进行了关键词搜索后,排除了重复的结果。对所选文章进行了文本内容分析,包括出版年份、研究设计、目的、研究法和结果等参数,这有助于排除关于非电离辐射治疗技术的出版物。那些没有测量胎儿和子宫吸收剂量的文章及关于接受放射治疗和X射线透视检查时的剂量评估的研究都被排除在系统综述的结果之外。因此,系统综述的最终结果中包括了12份出版物。

图1给出研究设计。

需要评估的参数

在系统综述中,根据以下参数对选定的出版物进行了评估:胎儿/胚胎吸收剂量、怀孕期、病理状态、检查的解剖部位、吸收剂量评估方法和调查的孕妇CT病例数。

系统综述结果的评估包括临床研究的数据和使用拟人模型的实验工作。

结果

使用“CT radiation risk in pregnancy”(怀孕期CT辐射风险)、“fetal absorbed doses from diagnostic imaging”(诊断成像的胎儿吸收剂量)、“CT fetal dosimetry”(CT胎儿剂量学)、“оценка доз облучения плода при КТ”(胎儿CT辐射剂量评估)等搜索词,从Pubmed/Medline、Google Scholar、eLibrary书目数据库中共检索到837篇在2007年至2022年期间发布的文献资料。经过重复出版物的初步分析和排除,12项英文和俄文的研究被纳入综述,包括8项使用拟人模型的研究,3项回顾性临床研究和1项前瞻性临床研究。每项研究都根据研究类型和种类、测量方法和吸收剂量的计算等参数进行评估。表1-7给出这些研究的摘要信息。

吸收剂量的测量和计算

测量是通过热释光剂量学（thermoluminescent dosimeter, TLD）或 MOS 晶体管剂量学（metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET）进行的。在这8项研究中，有2项使用了虚拟模型技术，其中包括对吸收剂量进行数学建模。

吸收剂量是根据测量结果或使用专用软件（IMPACT MC, CT EXPO, NCICT 3.0, Virtual dose CT）评估的，这些软件被用于评估辐射敏感的器官和组织的吸收剂量。

4项临床研究中的2项的吸收剂量是使用专用 ImPACT 计算程序计算的，另外两项研究没有给出计算方法的信息。

拟人模型中模拟的怀孕期从5周到40周不等。在8项研究中的5项中，扫描长度为32 cm，这相当于标准模型的长度。在4项研究中，另外使用了减少扫描长度的程序，在3项研究中，使用了增加扫描长度的程序。

对比分析

根据扫描的解剖部位（胸部、腹部和盆腔内的器官，以及创伤的全身研究），胎儿吸收的剂量分为几组，是在这些组中比较的（见表5-7）。

考虑到所提供的模型研究数据，为了确定按照胎龄吸收剂量和扫描区域变化的一般规律，合并了两对研究的结果，即A. V. Vodovatov等人[8]和J. Gu等人[13]，A. Kellaranta等人[14]和

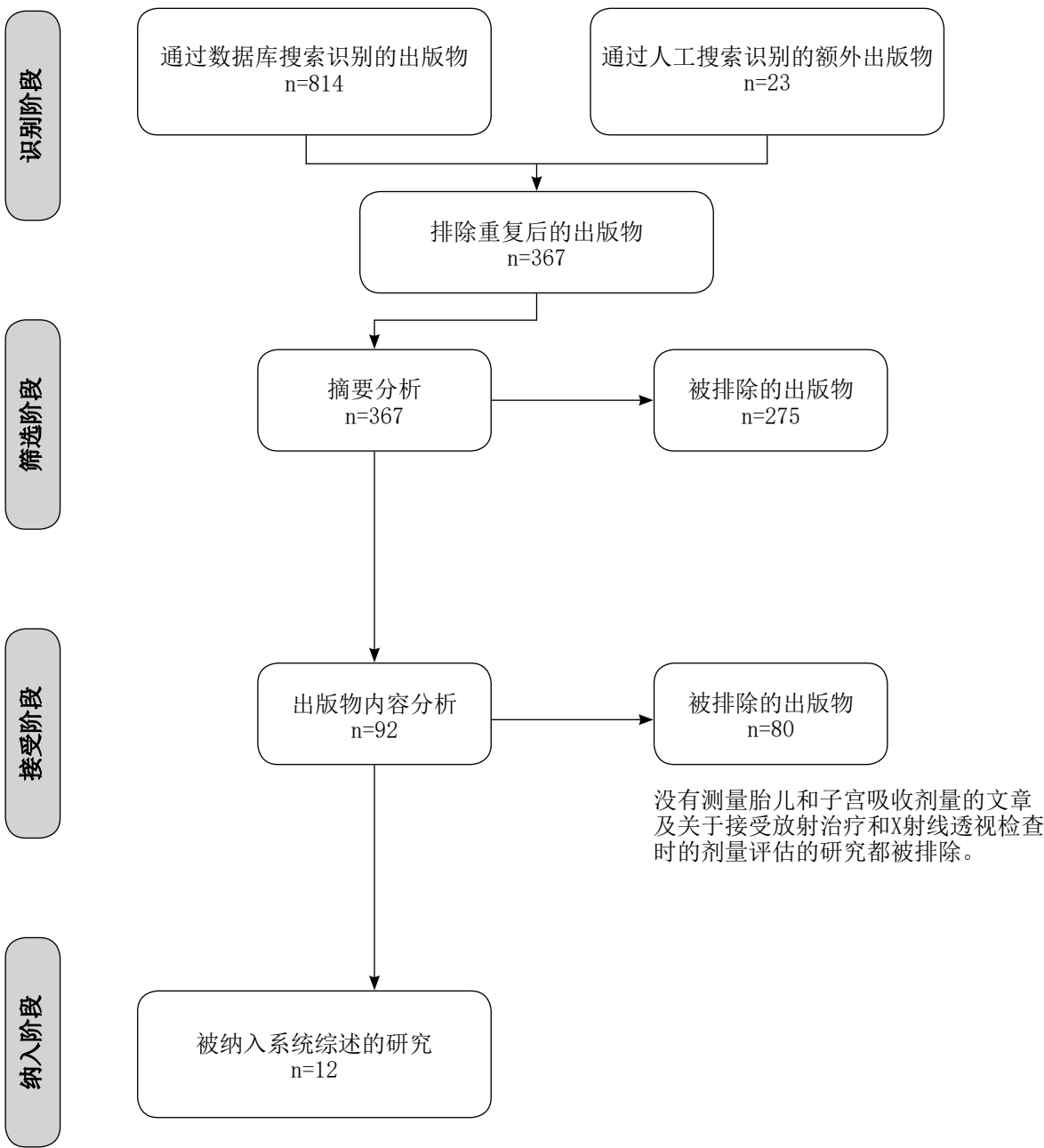


图1。PRISMA声明中的研究设计。

表1. 使用拟人模型的研究特点

文献资料	测量剂量的方法	吸收剂量的计算
Angel等人, 2008年[15]	不详	ImPACT; MC; CT Expo
Begano等人, 2020年[33]	TLD	VirtualDose CT
Doshi等人, 2008年[36]	TLD	根据TLD的测量结果
Kelaranta等人, 2017年[14]	MOSFET	ImPACT MC
Vodovатов等人, 2021年[8]	不详	NCICT3.0
Gilet等人, 2011年[37]	TLD	根据TLD测量的结果
Gu等人, 2009年[13]	MOSFET	MCNPX 根据MOSFET测量的结果
Jaffe等人, 2008年[26]	MOSFET	根据MOSFET测量的结果

注: TLD (thermoluminescent dosimeter) 是指热释光剂量学; MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) 是指MOS晶体管剂量学。

表2. 临床研究的特点

文章	研究类型	吸收剂量的计算
Lazarus等人, 2009年[29]	回顾性临床研究	不详
Goldberg-Stein等人, 2011年[16]	回顾性临床研究	ImPACT
Litmanovich等人, 2009年[32]	前瞻性临床研究	ImPACT
Lazarus等人, 2007年[30]	回顾性临床研究	不详

表3. 拟人模型的电子计算机断层扫描协议书

文献资料	CT探测器	电压, kV	曝光, mA	节距因数	怀孕期, 周	扫描长度, cm
Angel等人, 2008年[15]	LightSpeed 16, GE	120	100 - 300	1.375	5 - 36	46.2
Begano等人, 2020年[33]	Definition Flash CT (Siemens Healthineers, Germany)	120	85	1.5	28 - 38	32 cm——标准程序; 22 cm——短程序
Doshi等人, 2008年[36]	Siemens Sensation 16 Siemens Somatom Emotion / Marconi MX8000	100 - 130	125 - 250	1.25	35 - 40	32 cm——标准程序; 27 cm——短程
Gilet等人, 2011年[37]	LightSpeed 4 LightSpeed 16 LightSpeed 64 VCT, GE Healthcare	120	100 - 500	1.375 - 1.5	5, 10, 18, 32	32
Gu等人, 2013年[13]	LightSpeed 16 GE-MDCT	80 - 140	100	1.375	15, 20, 31	22 cm——胸部; 36 cm——腹部
Kelaranta等人, 2017年[14]	LightSpeed 64-MDCT GE Ingenuity 128, Philips	100 - 120	100 - 300	1.375	12, 20, 28, 38	27 cm——胸部; 32 cm——腹部 94 cm——损伤
Vodovатов等人, 2021年[8]	Somatom Definition AS, Siemens Somatom Scope, Siemens Emotion 16, Siemens	100 - 130	60 - 142	1.048 - 1.5	8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 38	33
Jaffe等人, 2008年[26]	通用电气LightSpeed 16-MDCT	140	300 - 380	0.9 - 1.75	5	32

表4. 怀孕患者的电子计算机断层扫描协议书

文献资料	CT探测器	电压, kV	曝光, mA	节距因数	怀孕期, 周	检查去 (解剖标志物)
Lazarus等人, 2007年[30]	Either single-detector row scanner (CTI GE Healthcare, Waukesha, WI), 4 MDCT Lightspeed; GE Healthcare) 16-MDCT Somatom; Siemens, Malvern	140	-	-	5 - 40	腹部
Lazarus等人, 2009年[29]	-	-	-	-	-	头部 胸部 腹部和小骨盆
Litmanovich等人, 2009年[32]	64-MDCT LightSpeed VCT	100	200	0.984	5 - 36	胸部 从主动脉弓到膈肌圆顶 19.846±2.98 cm
Goldberg-Stein等人, 2011年[16]	LightSpeed Plus, LightSpeed 16 Pro, LightSpeed Qx/I, HighSpeed RP, HighSpeed CT/GE Healthcare)	120 - 140	180 - 716	0.9 - 1.5	5 - 36	腹部和小骨盆

表5. 关于胸部CT扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据

文献资料	体积CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
在模型研究中					
Kellaranta等人, 2017年 [14]	1.34 - 1.97	476.63 - 582.22	12	0.03	0.04
			20	0.08	0.09
			28	0.14	0.29
			38	0.22	1.13
Doshi等人, 2008年[36]	-	-	35 - 40	0.23	-
Begano等人, 2020年[33]	1.5 - 4.0	44 - 137	28 - 38	0.02 - 0.12	-
Gilet等人, 2011年[37]	-	-	5 - 32	0.33 - 0.77	-
Gu等人, 2013年[13]	8.1 - 14.7	-	15	0.13	0.17
			20	0.21	0.33
			31	0.26	0.37
			8	0.09	0.09
			10	0.10	0.10
			15	0.08	0.07
Vodovatov等人, 2021年 [8]	5.6 - 9.3	185 - 306	20	0.13	0.09
			25	0.12	0.11
			30	0.16	0.15
			35	0.39	0.33
			38	0.52	0.64
在临床研究中					
Litmanovich等人, 2009年[32]	5.21	105.65	5 - 38	0.02	-
Lazarus等人, 2009年[29]	-	-	I, II, III 三个月	0.22	-

注: CTDI (computed tomography dose index) ——电子计算机断层扫描剂量指数; DLP (dose length product) ——剂量长度乘积。

表6. 关于腹部和盆腔内CT扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据

文献资料	体积CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
在模型研究中					
Kelaranta等人, 2017年[14]	2.63 – 3.91	102.34 – 151.86	12	4.7	5.1
			20	5.5	5.8
			28	4.8	4.9
			38	4.8	5.1
			5	–	–
Angel等人, 2008年[15]	–	–	12	14.2	11.8
			15	11.2	
			20	8.5	
			25	12.3	
			30	9.7	
Gu等人, 2013年[13]	–	–	35	10.4	–
Gilet等人, 2011年[37]	–	–	15	6.9	–
在临床研究中					
Lazarus等人, 2009年[29]	–	–	I, II, III 三个月	17.1	–
Lazarus等人, 2007年[30]	–	–	5 – 40	16	–
Goldberg-Stein等 人, 2011年[16]	–	–	5 – 36	24.8	–

注: CTDI (computed tomography dose index) ——电子计算机断层扫描剂量指数; DLP (dose length product) ——剂量长度乘积。

表7. 电子计算机断层扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据, 模型研究中的损伤

文献资料	CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周数	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
Kelaranta等人, 2017年[14]	4.74 – 5.79	45.18 – 66.52	12	10.6	11.3
			20	11.2	12.6
			28	10.1	10.3
			38	9.9	10.7
Jaffe等人, 2008年[26]	6.55 – 26.02	–	5	18.0	–

E. Angel等人[15]。这些研究中的胎龄和扫描区域具有可比性: A. V. Vodovatov和J. Gu的研究中的胸部, A. Kelaranta和E. Angel的研究中的腹部和小骨盆, 以及类似的扫描技术参数(如曝光、节距因数和电压)都有说明。上述数据的可比性使我们有可能将这些研究中的结果结合起来, 以进行对比分析。图2给出对比分析的结果。值得注意的是, 胸部扫描中胎儿吸收的剂量明显低于腹部扫描中的。此外, 随着胎龄的增加, 胎儿吸收的剂量有轻微下降的趋势。为了证实上述的规律, 需要进行进一步研究, 并提高统计能力。

最后, 可以肯定地说, 指南[3, 5]中提出的100 mGy的胎儿吸收剂量限值明显高于模型研究中观察到的胎儿辐射水平。此外, 考虑到可能的随机性效应, 20和30 mGy[5, 6]的数值在单相CT检查中也是无法实现的。

值得注意的是, 在系统综述所包括的临床研究中(除了S. Goldberg-Stein等人的研究[16]),

胎儿吸收的剂量值也没有超过上述的20–100 mGy的范围。对上述的S. Goldberg-Stein等人[16]的研究而言, 扫描参数是过高的(达到140 kV, 达到815 mAs), 这导致胎儿吸收剂量过高, 并考虑到了多相和多次检查(是在出版物正文中指出的)。

对比分析的结果允许放射科医生有临床指征时对孕妇进行单层单相CT检查, 而不必过分担心。如果需要重复扫描, 则需要进行额外的风险评估。

讨论

提供孕妇辐射安全性的基本方法与其他人群类似。当不能选择超声检查和磁共振成像作为诊断方式时, 使用电离辐射的诊断方式的指导原则是只对生命体征进行这种诊断方式, 并尽可能减少辐射剂量[17]。与病理诊断有关的危及生命的

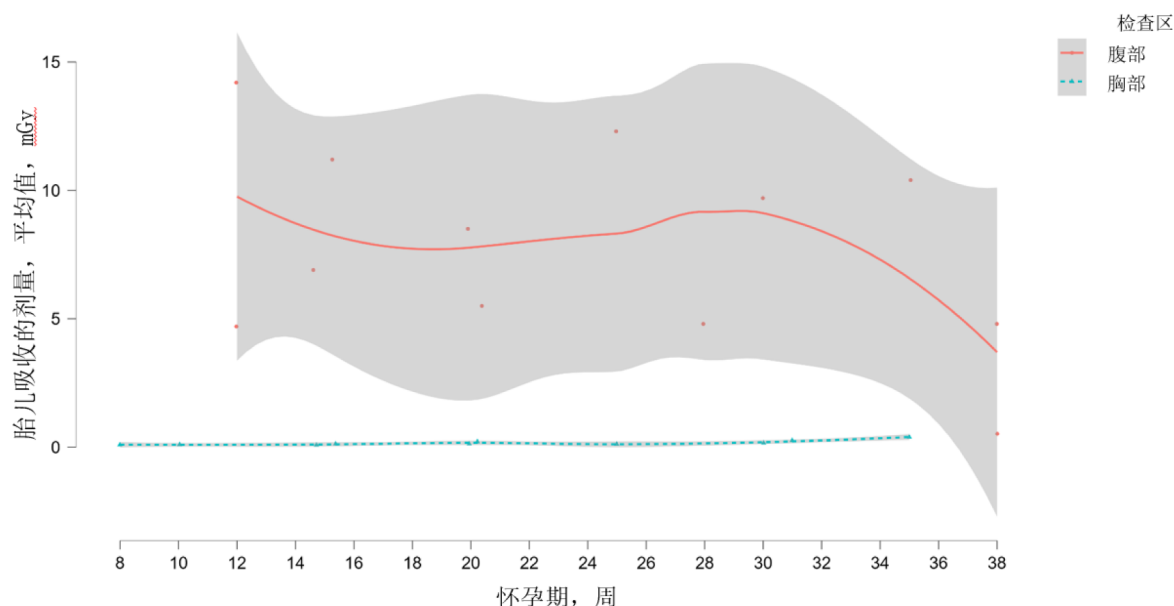


图2. 胸部器官检查（在A. V. Vodovotov[8]和J. Gu[13] 指导下的研究）和腹部器官检查（在A. Kellaranta[14]和E. Angel[15] 指导下的研究）的胎儿剂量测定结果汇总，以及LOESS回归线模拟和95%置信区间。

并发症的发生概率应大于诊断技术的潜在不利影响。在临床护理标准中应涉及到某一成像方式的使用，并对其在既定或疑似诊断中的使用提出建议。

为了遵循安全使用电离诊断技术的原则，在检查过程中必须监测胎儿的吸收剂量水平，并尽可能避免重复检查[18]。

在电离辐射诊断方法中，CT的信息量最大。CT检查不可否认的优势（即检查时间短，信息量大）使其成为诊断需要立即治疗的危及生命的病症的最佳方法[19, 20]。根据指征和诊断目标，CT检查时可以进行原位检测或造影剂增强检查。对孕妇的原位检测可被用于诊断炎症性肺部疾病、尿石症、各种损伤等[21, 22]。造影剂检查在肿瘤、炎症变化的鉴别诊断及CT血管造影中是必要的，CT血管造影被用于诊断血栓形成、血管壁损伤和评估特定结构的血液供应[19, 23]。对于怀孕的病人来说，建议将检查限制在这些选项中的一个。如果有必要进行造影剂增强CT检查，建议排除原位检测，这样可以减少检查时间和辐射剂量。

在对怀孕病人进行使用X射线放射学技术的检查下，应该对胎儿吸收的剂量进行评估[24]。由于这个问题的队列研究有限，现在广泛使用物理（拟人）或数字模型[25]。然而，使用人体模拟器的模型研究有一定的局限性。这主要在于模型的大小与真实病人的大小之间的差异。如果病人的身体参数比正在使用的模型大，那么病人吸收的剂量就会过高，反之，如果病人比模型小，剂量就会过低[25]。然而，将模型研究作为实验方向是合理的，因为吸收剂量更详细，而且是针对怀孕的每一周计算的，与队列研究相反，队列研究的计算结果是以平均剂量呈现的。此外，队

列研究和模型研究中确定的胎儿吸收剂量并无明显差异（见表5-7）。

对病人的辐射剂量直接取决于检查区。当胎儿在辐射场（CT的辐射区域）之外时，胎儿会受到散射辐射的影响。因此，胎儿离检查区越远，吸收的剂量就越低，于是出现不利影响的概率就越低[14]。

该文献综述的结果表明了，胎儿吸收的剂量与扫描的解剖部位有直接关系。表中的数据（见表5-7）显示了，胎儿吸收的剂量在全身、腹部和小盆腔CT检查中最高。胸部CT检查的胎儿吸收剂量最低。模型评估的吸收剂量与队列研究中获得的吸收剂量相当。

在本综述中分析的国外研究中，没有一个报道超过了100 mGy的胎儿吸收剂量阈值。在国内实践中，还没有与评估CT的指征以及腹部和盆腔内器官CT时孕妇和胎儿的吸收剂量次数有关的研究。

在妊娠早期，由于胚胎体积小，评估胎儿吸收的剂量很困难。根据一些研究[8, 26, 27]，子宫和胎儿的吸收剂量差别不大，因此可以用子宫内的吸收剂量来等同于胎儿吸收的剂量[28]。实验研究已经确定了吸收剂量对胎龄的依赖性。

由于所分析的队列研究中的数据是以不同胎龄的胎儿平均吸收剂量来表示的，无法确定这些研究中胎龄和吸收剂量水平之间的相关性[29-31]。

除了胎龄和解剖部位外，技术参数如扫描区长度、自动电流调制算法（如果有的话）、节距和电压都会对吸收的剂量值产生影响。

通过改变扫描协议的参数和减少扫描区域的长度可以实现辐射剂量的减少。在一项D. Litmanovich等人的研究[32]中，26名疑似肺血栓栓塞症（PTE）的孕妇接受了肺部CT血管造影，与标准协议相比，降低了电压和电流，缩短了扫

描长度。在保持研究的诊断质量的同时，有效剂量明显低于对照组的（分别为1.8和9.8 mSv）。

缩短扫描长度在模型研究中也证明是有效的[33]。作者报告说，与标准扫描长度的剂量相比，胎儿的平均吸收剂量明显减少（分别为0.1和0.03 mSv）。然而，将一些解剖结构排除在扫描区域之外会有一定的风险，所以在缩短扫描长度时必须考虑到这一点。

一些研究也考虑了妊娠期放射检查时使用遮盖板（个人防护用品）的适当性[33, 34]。经审查的出版物表明，对远离子宫的器官进行检查时，没有必要使用额外的防护用品，因为在这种情况下，胎儿主要受到的是散射辐射，而不是直接辐射。在这种情况下，使用遮盖板并不能减少对胎儿的散射辐射，而更是起到心理上的保护作用。与使用遮盖板相比，缩短扫描长度已被证明对减少胎儿的吸收剂量最为有效[34–36]。此外，有研究表明了，将遮盖板引入检查区域会迫使CT扫描仪图像优化系统大幅提高管子的辐射功率，最终导致孕妇的剂量增加，于是导致胎儿的剂量增加[37]。

结论

由于可能发生不利影响，对孕妇的辐射诊断应该是按照辐射安全方法进行的，同时完全避免使用电离辐射的诊断检查是错误的。

在许多危及生命的情况下，电离辐射检查可能是必要的，也是诊断一些病症的首选方法。要考虑到，由于诊断不及时而发生的这种病理状态的并发症的风险要比电离辐射的不利影响的风险大很多倍。

结果证明，在CT检查中，胎儿吸收的剂量并没有达到阈值。在胸部CT检查中，胎儿吸收的剂量很低，不能导致确定性效应。在腹部、小盆腔和全身CT检查中会出现更明显的胎儿辐射量，但即

使在这些检查中，如果进行单层单相扫描，也不太可能超过辐射阈值。然而，在多次腹部或全身CT检查或静脉注射造影剂的多相CT检查时电离辐射的吸收剂量可能超过阈值。在推荐孕妇进行这些部位的CT检查时，应考虑到这一点。还要考虑造影剂增强检查对胎儿发育的其他不良影响。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Vodovatov — development of the study concept, systematization of data, peer review, and final editing of the systematic review; O.A. Golchenko — search for publications on the topic, analysis of literature data, design of tables, writing the text; I.A. Mashchenko — development of the research concept, peer review and final editing of the systematic review; D.V. Alekseeva — development of the study concept, analysis of the obtained data, final editing of the systematic review; L.A. Chipiga — data systematization, peer review, and final editing of the systematic review; I.V. Khutornoy — study design, statistical processing of the results, preparation of illustrations; P.V. Kozlova — search for publications on the topic, analysis of literature data, text editing; G.E. Trufanov — development of the research concept, expert evaluation, approval of the final version of the article; P.S. Druzhinina — adaptation of the text of the article, processing of the research results; S.A. Ryzhov, setting research objectives, participating in the description of the discussion of the results obtained; I.V. Soldatov — participation in the discussion of the obtained results, expert evaluation, approval of the final version of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штенцель Р.Э., Семенова Е.С., Машченко И.А., и др. Исторические аспекты становления и развития методов лучевой диагностики в перинатологии // Трансляционная медицина. 2021. Т. 8, № 3. С. 29–36. doi: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-29-36
2. Sadro C., Bernstein M.P., Kanal K.M. Imaging of trauma. Part 2, Abdominal trauma and pregnancy: A radiologist's guide to doing what is best for the mother and baby // Am J Roentgenol. 2012. Vol. 199, N 6. P. 1207–1219. doi: 10.2214/AJR.12.9091
3. Wang P.I., Chong S.T., Kielar A.Z., et al. Imaging of pregnant and lactating patients: Part 1, evidence-based review and recommendations // Am J Roentgenol. 2012. Vol. 198, N 4. P. 778–784. doi: 10.2214/AJR.11.7405
4. Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation // Obstet Gynecol. 2017. Vol. 130, N 4. P. 210–216. doi: 10.1097/AOG.0000000000002355
5. ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English. Ed. by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow: Alana; 2009. 312 p.
6. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. 2018. 23 p. Режим доступа: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>. Дата обращения: 17.05.2023.
7. Frush D. The cumulative radiation dose paradigm in pediatric imaging // Br J Radiol. 2021. Vol. 94, N 1126. P. 20210478. doi: 10.1259/bjr.20210478
8. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Пивень П.А., и др. Оценка поглощённых доз в плоде при проведении компьютерной томографии органов грудной клетки беременной женщины // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 126–135. doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135

9. Liu H., Liu F., Li J., et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children // *J Infect.* 2020. Vol. 80, N 5. P. 7–13. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.007
10. Dehan L., Lin L., Xin W., et al. Pregnancy and perinatal outcomes of women with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: A preliminary analysis // *Am J Roentgenol.* 2020. Vol. 215, N 1. P. 127–132. doi: 10.2214/AJR.20.23072
11. Garcia E.M., Camacho M.A., Karolyi D.R., et al.; Expert Panel on Gastrointestinal Imaging. ACR appropriateness criteria right lower quadrant pain-suspected appendicitis // *Am J Roentgenol.* 2018. Vol. 15, N 11. P. 373–387. doi: 10.1016/j.jacr.2018.09.033
12. Сажин А.В., Кириенко А.И., Курцер М.А., и др. Острый аппендицит у беременных // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2019. № 1. С. 70–77.
13. Gu J., Bednarz B., Caracappa P.F., Xu X.G. The development, validation and application of a multi-detector CT (MDCT) scanner model for assessing organ doses to the pregnant patient and the fetus using Monte Carlo simulations // *Phys Med Biol.* 2009. Vol. 54, N 9. P. 2699–2717. doi: 10.1088/0031-9155/54/9/007
14. Kellaranta A., Mäkelä T., Kaasalainen T., Kortensniemi M. Fetal radiation dose in three common CT examinations during pregnancy: Monte Carlo study // *Phys Med.* 2017. N 43. P. 199–206. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.09.120
15. Angel E., Wellnitz C.V., Goodsitt M.M., et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size // *Radiology.* 2008. Vol. 249, N 1. P. 220–227. doi: 10.1148/radiol.2491071665
16. Goldberg-Stein S., Liu B., Hahn P.F., Lee S.I. Body CT during pregnancy: Utilization trends, examination indications, and fetal radiation doses // *Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 196, N 1. P. 146–151. doi: 10.2214/AJR.10.4271
17. Vandecaveye V., Amant F., Lecouvet F., et al. Imaging modalities in pregnant cancer patients // *Int J Gynecol Cancer.* 2021. Vol. 31, N 3. P. 423–431. doi: 10.1136/ijgc-2020-001779
18. Kwan M.L., Miglioretti D.L., Marlow E.C., et al.; Radiation-Induced Cancers Study Team. Trends in medical imaging during pregnancy in the United States and Ontario, Canada, 1996 to 2016 // *JAMA Network Open.* 2019. N 7. P. 197–249. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.7249
19. Прокоп М., Галански М. Спиральная и многослойная компьютерная томография. Москва, 2011. 440 с.
20. Араблинский А.В., Магдебурга Ю.А. КТ в диагностике абдоминальной патологии нетравматического генеза // *REJR.* 2018. Т. 8, № 2. С. 58–71. doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-2-58-71
21. Kirsch J., Brown R.K., Henry T.S., et al.; Expert Panels on Cardiac and Thoracic Imaging. ACR appropriateness criteria acute chest pain-suspected pulmonary embolism // *J Am Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, N 5. P. 2–12. doi: 10.1016/j.jacr.2017.02.027
22. Shyu J.Y., Khurana B., Soto J.A., et al.; Expert Panel on Major Trauma Imaging. ACR appropriateness criteria major blunt trauma // *J Am Coll Radiol.* 2020. Vol. 17, N 5. P. 160–174. doi: 10.1016/j.jacr.2020.01.024
23. Панченко Е.П., Балахонова Т.В., Данилов Н.М., и др. Диагностика и лечение тромбозов лёгочной артерии: клинические рекомендации Евразийской ассоциации кардиологов для практических врачей (2021) // *Евразийский кардиологический журнал.* 2021. № 1. С. 44–77. doi: 10.38109/2225-1685-2021-1-44-77
24. Ria F., D'Ercole L., Origgi D., et al.; Association of Medical Physics Task Group. Statement of the Italian Association of Medical Physics (AIFM) task group on radiation dose monitoring systems // *Insights Imaging.* 2022. Vol. 13, N 1. P. 23. doi: 10.1186/s13244-022-01155-1
25. Sensakovic W.F., Royall I., Hough M., et al. Fetal dosimetry at CT: A primer // *Radiographics.* 2020. Vol. 40, N 4. P. 1061–1070. doi: 10.1148/rg.2020190166
26. Jaffe T.A., Yoshizumi T.T., Toncheva G.I., et al. Early first-trimester fetal radiation dose estimation in 16-MDCT without and with automated tube current modulation // *Am J Roentgenol.* 2008. Vol. 190, N 4. P. 860–864. doi: 10.2214/AJR.07.2925
27. Huda W., Randazzo W., Tipnis S., et al. Embryo dose estimates in body CT // *Am J Roentgenol.* 2010. Vol. 194, N 4. P. 874–880. doi: 10.2214/AJR.09.4032
28. Damilakis J., Perisinakis K., Tzedakis A., et al. Radiation dose to the conceptus from multidetector CT during early gestation: A method that allows for variations in maternal body size and conceptus position // *Radiology.* 2010. Vol. 257, N 2. P. 483–489. doi: 10.1148/radiol.10092397
29. Lazarus E., Debenedectis C., North D., et al. Utilization of imaging in pregnant patients: 10-year review of 5270 examinations in 3285 patients 1997–2006 // *Radiology.* 2009. Vol. 251, N 2. P. 517–524. doi: 10.1148/radiol.2512080736
30. Lazarus E., Mayo-Smith W.W., Mainiero M.B., Spencer P.K. CT in the evaluation of nontraumatic abdominal pain in pregnant women // *Radiology.* 2007. Vol. 244, N 3. P. 784–790. doi: 10.1148/radiol.2443061634
31. Goldberg-Stein S.A., Liu B., Hahn P.F., Lee S.I. Radiation dose management: Part 2, estimating fetal radiation risk from CT during pregnancy // *Am J Roentgenol.* 2012. Vol. 198, N 4. P. 352–356. doi: 10.2214/AJR.11.7458
32. Litmanovich D., Boisselle P.M., Bankier A.A., et al. Dose reduction in computed tomographic angiography of pregnant patients with suspected acute pulmonary embolism // *J Comput Assist Tomogr.* 2009. Vol. 33, N 6. P. 961–966. doi: 10.1097/RCT.0b013e318198cd18
33. Begano D., Söderberg M., Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: A phantom study // *Radiation Protection Dosimetry.* 2020. Vol. 189, N 4. P. 458–465.
34. Ryckx N., Sans-Merce M., Schmidt S., et al. The use of out-of-plane high Z patient shielding for fetal dose reduction in computed tomography: Literature review and comparison with Monte-Carlo calculations of an alternative optimisation technique // *Phys Med.* 2018. N 48. P. 156–161. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.03.017
35. Tack D., Kalra M.K., Gevenois P.A. Radiation dose from multidetector CT (2nd ed.). Springer, 2012. doi: 10.1007/978-3-642-24535-0
36. Doshi S.K., Negus I.S., Oduko J.M. Fetal radiation dose from CT pulmonary angiography in late pregnancy: A phantom study // *Br J Radiol.* 2008. Vol. 81, N 968. P. 653–658. doi: 10.1259/bjr.22775594
37. Gilet A.G., Dunkin J.M., Fernandez T.J., et al. Fetal radiation dose during gestation estimated on an anthropomorphic phantom for three generations of CT scanners // *Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 196, N 5. P. 1133–1137. doi: 10.2214/AJR.10.4497

REFERENCES

1. Shtentsel RE, Semenova ES, Mashchenko IA, et al. The history of the formation and development of methods of radiation diagnostics in perinatology. *Translational Med.* 2021;8(3):29–36. (In Russ). doi: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-29-36
2. Sadro C, Bernstein MP, Kanal KM. Imaging of trauma. Part 2, Abdominal trauma and pregnancy: A radiologist's guide to doing what is best for the mother and baby. *Am J Roentgenol.* 2012;199(6):1207–1219. doi: 10.2214/AJR.12.9091
3. Wang PI, Chong ST, Kielar AZ, et al. Imaging of pregnant and lactating patients: Part 1, evidence-based review and recommendations. *Am J Roentgenol.* 2012;198(4):778–784. doi: 10.2214/AJR.11.7405
4. Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. *Obstet Gynecol.* 2017;130(4):210–216. doi: 10.1097/AOG.0000000000002355
5. ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English. Ed. by M.F. Kiselev and N.K. Shandala. Moscow: Alana; 2009. 312 p.
6. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. 2018. 23 p. Available from: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>. Accessed: 17.05.2023.
7. Frush D. The cumulative radiation dose paradigm in pediatric imaging. *Br J Radiol.* 2021;94(1126):20210478. doi: 10.1259/bjr.20210478
8. Vodovatov AV, Chipiga LA, Piven PA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena.* 2021;14(3):126–135. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135
9. Liu H, Liu F, Li J, et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children. *J Infect.* 2020;80(5):7–13. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.007
10. Dehan L, Lin L, Xin W, et al. Pregnancy and perinatal outcomes of women with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: A preliminary analysis. *Am J Roentgenol.* 2020;215(1):127–132. doi: 10.2214/AJR.20.23072
11. Garcia EM, Camacho MA, Karolyi DR, et al.; Expert Panel on Gastrointestinal Imaging. ACR appropriateness criteria right lower quadrant pain-suspected appendicitis. *Am J Roentgenol.* 2018;15(11):373–387. doi: 10.1016/j.jacr.2018.09.033
12. Sazhin AV, Kirienko AI, Kurtser MA, et al. Acute appendicitis during pregnancy (in Russian only). *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2019;(1):70–77. (In Russ).
13. Gu J, Bednarz B, Caracappa PF, Xu XG. The development, validation and application of a multi-detector CT (MDCT) scanner model for assessing organ doses to the pregnant patient and the fetus using Monte Carlo simulations. *Phys Med Biol.* 2009;54(9):2699–2717. doi: 10.1088/0031-9155/54/9/007
14. Kellaranta A, Mäkelä T, Kaasalainen T, Kortelainen M. Fetal radiation dose in three common CT examinations during pregnancy: Monte Carlo study. *Phys Med.* 2017;43:199–206. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.09.120
15. Angel E, Wellnitz CV, Goodsitt MM, et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology.* 2008;249(1):220–227. doi: 10.1148/radiol.2491071665
16. Goldberg-Stein S, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Body CT during pregnancy: Utilization trends, examination indications, and fetal radiation doses. *Am J Roentgenol.* 2011;196(1):146–151. doi: 10.2214/AJR.10.4271
17. Vandecaveye V, Amant F, Lecouvet F, et al. Imaging modalities in pregnant cancer patients. *Int J Gynecol Cancer.* 2021;31(3):423–431. doi: 10.1136/ijgc-2020-001779
18. Kwan ML, Miglioretti DL, Marlow EC, et al.; Radiation-Induced Cancers Study Team. Trends in medical imaging during pregnancy in the United States and Ontario, Canada, 1996 to 2016. *JAMA Network Open.* 2019(7):197–249. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.7249
19. Prokop M, Galanski M. Spiral and multilayered computed tomography. Moscow; 2011. 440 p. (In Russ).
20. Arablinskiy AV, Magdeburua YA. CT in the diagnosis of nontraumatic acute abdomen. *REJR.* 2018;8(2):58–71. (In Russ). doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-2-58-71
21. Kirsch J, Brown RK, Henry TS, et al.; Expert Panels on Cardiac and Thoracic Imaging. ACR appropriateness criteria acute chest pain-suspected pulmonary embolism. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(5):2–12. doi: 10.1016/j.jacr.2017.02.027
22. Shyu JY, Khurana B, Soto JA, et al. Expert Panel on Major Trauma Imaging. ACR appropriateness criteria major blunt trauma. *J Am Coll Radiol.* 2020;17(5):160–174. doi: 10.1016/j.jacr.2020.01.024
23. Panchenko EP, Balahonova TV, Danilov NM, et al. Diagnosis and management of pulmonary embolism Eurasian Association of Cardiology (EAC) clinical practice guidelines (2021). *Eurasian Heart J.* 2021;(1):44–77. (In Russ). doi: 10.381092225-1685-2021-1-44-77
24. Ria F, D'Ercole L, Origgi D, et al.; Association of Medical Physics Task Group. Statement of the Italian Association of Medical Physics (AIFM) task group on radiation dose monitoring systems. *Insights Imaging.* 2022;13(1):23. doi: 10.1186/s13244-022-01155-1
25. Sensakovic WF, Royall I, Hough M, et al. Fetal dosimetry at CT: A primer. *Radiographics.* 2020;40(4):1061–1070. doi: 10.1148/rg.2020190166
26. Jaffe TA, Yoshizumi TT, Toncheva GI, et al. Early first-trimester fetal radiation dose estimation in 16-MDCT without and with automated tube current modulation. *Am J Roentgenol.* 2008;190(4):860–864. doi: 10.2214/AJR.07.2925
27. Huda W, Randazzo W, Tipnis S, et al. Embryo dose estimates in body CT. *Am J Roentgenol.* 2010;194(4):874–880. doi: 10.2214/AJR.09.4032
28. Damilakis J, Perisinakis K, Tzedakis A, et al. Radiation dose to the conceptus from multidetector CT during early gestation: A method that allows for variations in maternal body size and conceptus position. *Radiology.* 2010;257(2):483–489. doi: 10.1148/radiol.10092397
29. Lazarus E, Debenedictis C, North D, et al. Utilization of imaging in pregnant patients: 10-year review of 5270 examinations in 3285 patients 1997–2006. *Radiology.* 2009;251(2):517–524. doi: 10.1148/radiol.2512080736
30. Lazarus E, Mayo-Smith WW, Mainiero MB, Spencer PK. CT in the evaluation of nontraumatic abdominal pain in pregnant women. *Radiology.* 2007;244(3):784–790. doi: 10.1148/radiol.2443061634
31. Goldberg-Stein SA, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Radiation dose management: Part 2, estimating fetal radiation risk from CT

during pregnancy. *Am J Roentgenol.* 2012;198(4):352–356. doi: 10.2214/AJR.11.7458

32. Litmanovich D, Boisselle PM, Bankier AA, et al. Dose reduction in computed tomographic angiography of pregnant patients with suspected acute pulmonary embolism. *J Comput Assist Tomogr.* 2009;33(6):961–966. doi: 10.1097/RCT.0b013e318198cd18

33. Begano D, Söderberg M, Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: A phantom study. *Radiation Protection Dosimetry.* 2020;189(4):458–465.

34. Ryckx N, Sans-Merce M, Schmidt S, et al. The use of out-of-plane high Z patient shielding for fetal dose reduction in computed

tomography: Literature review and comparison with Monte-Carlo calculations of an alternative optimisation technique. *Phys Med.* 2018;(48):156–161. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.03.017

35. Tack D, Kalra MK, Gevenois PA. Radiation dose from multidetector CT (2nd ed.). Springer; 2012. doi: 10.1007/978-3-642-24535-0

36. Doshi SK, Negus IS, Oduko JM. Fetal radiation dose from CT pulmonary angiography in late pregnancy: A phantom study. *Br J Radiol.* 2008;81(968):653–658. doi: 10.1259/bjr/22775594

37. Gilet AG, Dunkin JM, Fernandez TJ, et al. Fetal radiation dose during gestation estimated on an anthropomorphic phantom for three generations of CT scanners. *Am J Roentgenol.* 2011;196(5):1133–1137. doi: 10.2214/AJR.10.4497

AUTHORS' INFO

* **Aleksandr V. Vodovатов**, Cand. Sci. (Biol.);
address: 8 Mira street, 197101 Saint Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0002-5191-7535;
eLibrary SPIN: 4560-8978;
e-mail: vodovatoff@gmail.com

Olga A. Golchenko;
ORCID: 0000-0003-4614-9241;
e-mail: breakerxolyga@yandex.ru

Irina A. Mashchenko, MD, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher,
Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-4949-8829;
eLibrary SPIN: 5154-7080;
e-mail: mashchenko_ia@almazovcentre.ru

Darya V. Alekseeva, Assistant Lecturer;
ORCID: 0000-0001-9528-9377;
eLibrary SPIN: 6484-4327;
e-mail: darja-karpova@yandex.ru

Larisa A. Chipiga, Cand. Sci. (Engin.), Research Associate,
Assistant Professor;
ORCID: 0000-0001-9153-3061;
eLibrary SPIN: 3920-7798;
e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Ivan V. Khutornoy, Graduate Student;
ORCID: 0000-0002-5405-603X;
eLibrary SPIN: 8020-0222;
e-mail: mcdm.avk@gmail.com

Polina V. Kozlova, Assistant Lecturer;
ORCID: 0000-0002-3240-7038;
eLibrary SPIN: 3555-0410;
e-mail: apollinaria@bk.ru

Gennady E. Trufanov, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-1611-5000;
eLibrary SPIN: 3139-3581;
e-mail: trufanovge@mail.ru

Polina S. Druzhinina, Junior Research Associate;
ORCID: 0000-0003-2921-067X;
eLibrary SPIN: 9003-3234;
e-mail: druzhininapauline@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

* **Водоватов Александр Валерьевич**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;
ORCID: 0000-0002-5191-7535;
eLibrary SPIN: 4560-8978;
e-mail: vodovatoff@gmail.com

Гольченко Ольга Андреевна;
ORCID: 0000-0003-4614-9241;
e-mail: breakerxolyga@yandex.ru

Машченко Ирина Александровна, канд. мед. наук, вед. науч.
сотр., доцент;
ORCID: 0000-0002-4949-8829;
eLibrary SPIN: 5154-7080;
e-mail: mashchenko_ia@almazovcentre.ru

Алексеева Дарья Владимировна, ассистент;
ORCID: 0000-0001-9528-9377;
eLibrary SPIN: 6484-4327;
e-mail: darja-karpova@yandex.ru

Чипига Лариса Александровна, канд. тех. наук, науч. сотр.,
доцент;
ORCID: 0000-0001-9153-3061;
eLibrary SPIN: 3920-7798;
e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Хуторной Иван Валерьевич, аспирант;
ORCID: 0000-0002-5405-603X;
eLibrary SPIN: 8020-0222;
e-mail: mcdm.avk@gmail.com

Козлова Полина Викторовна, ассистент;
ORCID: 0000-0002-3240-7038;
eLibrary SPIN: 3555-0410;
e-mail: apollinaria@bk.ru

Труфанов Геннадий Евгеньевич, докт. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-1611-5000;
eLibrary SPIN: 3139-3581;
e-mail: trufanovge@mail.ru

Дружинина Полина Сергеевна, мл. науч. сотр.;
ORCID: 0000-0003-2921-067X;
eLibrary SPIN: 9003-3234;
e-mail: druzhininapauline@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Sergey A. Ryzhov, Research Associate;
ORCID: 0000-0002-0640-7368;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: mosrg@mail.ru

Ilya V. Soldatov;
ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: npcmr@mail.ru

Рыжов Сергей Анатольевич, науч. сотр.;
ORCID: 0000-0002-0640-7368;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: mosrg@mail.ru

Солдатов Илья Владимирович;
ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: npcmr@mail.ru