DOI:10.16016/j.2097-0927.202209299

寒区军人子女出生缺陷的流行病学调查与影响因素分析

张 玉,孙静莉 110000 沈阳,北部战区总医院妇产科

[摘要] **目的** 分析寒区军人子女全孕期出生缺陷的发生情况,探讨其流行病学特征和影响因素。**方法** 采用病例对照研究,选取2017-2020年北部战区总医院分娩登记的所有军人胎儿1 883例(妊娠满12周至产后7 d,包括活产、死产及死胎、引产)为医院层面出生缺陷监测对象,选取沈阳及其周边部分驻地军人于2017-2020年分娩的胎儿2 198例(妊娠满12周以上,包括活产、死产及死胎、引产)为人群层面出生缺陷监测对象,通过填写《寒区军人子女出生缺陷流行病学调查表》收集数据,分析医院监测和人群监测下全孕期出生缺陷发生率、顺位及其影响因素。**结果** ①2017-2020年医院监测下寒区军人子女全孕期出生缺陷发生率为175.25/万(33/1 883),医院监测下寒区地方群众子女全孕期出生缺陷发生率为175.47/万(480/27 355),人群监测下寒区军人子女全孕期出生缺陷发生率为218.38/万(48/2 198)。②医院监测和人群监测下出生缺陷的前3顺位为外耳畸形、并指(趾)和/或多指(趾)、先天性心脏病。③出生缺陷儿母亲文化程度及牛奶摄入量≥500 mL/周比例均低于正常新生儿母亲($P<0.05$)。双亲一方或双方存在雷达暴露、无线电波暴露和高电磁辐射暴露的缺陷儿出生率高于正常双亲($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析显示,母亲文化程度在大专及以下($OR=2.218$)、双亲一方或双方有雷达暴露($OR=2.179$)、无线电波暴露($OR=3.446$)、高电磁辐射暴露($OR=2.687$)是寒区军人子女发生出生缺陷的危险因素,母亲牛奶摄入量≥500 mL/周($OR=0.546$)是保护性因素。**结论** 寒区军人子女全孕期出生缺陷发生率与本地地方群众基本相同,出生缺陷发生顺位前3位分别是外耳畸形、并指(趾)和/或多指(趾)、先天性心脏病。母亲文化程度低,双亲的雷达、无线电波和高电磁辐射暴露是寒区军人子女发生出生缺陷的危险因素。

[关键词] 寒区;军人;出生缺陷;医院监测;人群监测

[中图法分类号] R339.55;R726.2;R821.3 [文献标志码] A

Epidemiological investigation and influencing factors of birth defects in military children in cold region

ZHANG Yu, SUN Jingli Department of Gynaecology and Obstetrics, General Hospital of Northern Theater Command, Shenyang, Liaoning Province, 110000, China

[**Abstract**] **Objective** To analyze the incidence of birth defects during whole pregnancy in military children in cold region, and explore its epidemiological characteristics and influencing factors. **Methods** A case-control trial was conducted on 1 883 military fetuses (from 12 weeks of gestation to 7 d after birth, including live birth, stillbirth and odinopoeia) delivered in our hospital from January 2017 to December 2020, and they were selected for birth defect detection at hospital level. A total of 2 198 military fetuses (from 12 weeks of gestation, including live births, stillbirths, odinopoeia and children) delivered in Shenyang and its surrounding areas from January 2017 to December 2020 were selected for birth defect detection at population level. Data were collected by filling the Birth Defects Epidemiological Questionnaire for Military Children in Cold Region. The incidence, sequence and influencing factors of birth defects during whole pregnancy under hospital surveillance and population surveillance were analyzed. **Results** ① From 2017 to 2020, the

[通信作者] 孙静莉,E-mail:zg3416@sina.com

2097-0927/Copyright © 2023, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循CC BY许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

incidence of birth defects during whole pregnancy was 175.25/10 000 (33/1 883) in military children in cold region under hospital surveillance, was 175.47/10 000 (480/27 355) in local people in cold region under hospital surveillance, and was 218.38/10 000 (48/2 198) in military children in cold region under population surveillance. ② The top 3 birth defects in hospital surveillance and population surveillance were external ear malformation, syndactyly and/or polydactyly, and congenital heart disease. ③ Lower education level and proportion of milk intake ≥500 mL/week were observed in the mothers delivering infants with birth defects than those with normal neonates ($P<0.05$). Higher birth defects were also seen among one or both parents exposure to radar, radio wave and high electromagnetic radiation than the parents in normal environment ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that maternal education level of junior college or below ($OR=2.218$), one or both parents with radar exposure ($OR=2.179$), radio exposure ($OR=3.446$) and high electromagnetic radiation exposure ($OR=2.687$) were risk factors for birth defects, and maternal milk intake ≥500 mL/week ($OR=0.546$) was a protective factor. **Conclusion** The incidence of birth defects in military children in cold region is basically similar to that in local people. The top 3 birth defects are external ear malformation, syndactyly and/or polydactyly, and congenital heart disease. Low maternal education level, parents' exposure to radar, radio waves and high electromagnetic radiation are risk factors for birth defects in military children in cold region.

[**Key words**] cold region; military personnel; birth defects; hospital surveillance; population surveillance

Corresponding author: SUN Jingli, E-mail: zg3416@sina.com

出生缺陷(birth defect)是指胚胎或胎儿在发育过程中所发生的结构或功能代谢的异常,包括先天畸形、染色体异常、遗传代谢性疾病和功能异常(如盲、聋和智力障碍等)[1]。中国总出生缺陷发生率约为5.6%,每年新增出生缺陷病例总数庞大[2]。出生缺陷是造成流产、早产、儿童残疾、儿童死亡的重要原因,给家庭及社会带来沉重的精神和经济负担[3-4]。寒区军人处于严寒、高强度训练、化学暴露、放射暴露、电辐射暴露等复杂环境,与社会人员及其他地区军人明显不同,这些极端环境将不可避免地对军人生殖细胞产生不利影响,特别是细胞中DNA极易受到损伤,从而可能增加军人子女出生缺陷发生率、影响寒区军队战斗力[5-6]。本研究以沈阳为研究城市,采用回顾性病例对照研究,通过医院监测和人群监测两个不同层面,分析2017-2020年寒区军人子女出生缺陷流行病学特点,初步探究出生缺陷的影响因素,以期为建立寒区军人子女出生缺陷风险评估系统、制定出生缺陷干预调控措施提供理论基础。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2017-2020年北部战区总医院分娩登记的所有军人的胎儿(妊娠满12周至产后7 d,包括活产、死产及死胎、引产)为医院层面出生缺陷监测对象,共1 883例,其中出生缺陷儿33例,正常新生儿1 850例。同时收集该时间段内该医院分娩登记的所有地方群众的胎儿(妊娠满12周至产后7 d,包括活产、死产及死胎、引产),共27 355例,其中出生缺陷儿480例,正常新生儿26 875例。

选取沈阳及其周边部分驻地军人于2017-2020年分娩的胎儿(妊娠满12周以上,包括活产、死产及死胎、引产)为人群层面出生缺陷监测对象,共2 198例,其中出生缺陷儿48例,正常新生儿2 150例。本研究经北部战区总医院医院伦理委员会批准[Y(2020)025]。

1.2 研究方法

根据《中国出生缺陷监测方案》制定的23类主要出生缺陷,由接受培训的医师结合产前诊断、体格检查及其他辅助检查结果进行分类诊断,并联系指导所有监测对象填写《寒区军人子女出生缺陷流行病学调查表》,内容主要包括:夫妻双方的基本情况(年龄、学历、职业、收入、生活习惯等)、工作及生活特殊环境的暴露情况(武器制造、雷达、电子对抗、噪音、重金属、有机溶剂、辐射、高低温等)、女性生育史及孕期相关情况、出生缺陷儿相关情况等80余项。由2名培训后人员复核所采集资料,采用平行双人法录入数据,保证资料数据的准确性、可靠性、完整性。

1.3 统计学分析

采用SPSS 26.0统计学软件对数据进行处理,计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,采用独立样本t检验;计数资料用

例数和百分数(%)表示,采用 χ^2 检验;出生缺陷的多因素分析采用多因素 Logistic 回归分析。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 出生缺陷儿的基本情况

医院监测层面,2017-2020 年共分娩军人胎儿 1 883 例,其中出生缺陷儿 33 例(孕 12 周至孕 27^{+6} 周缺陷儿 5 例,占总缺陷儿的 15.15%),全孕期出生缺陷发生率为 175.25/万(33/1 883);共分娩地方群众胎儿 27 355 例,其中出生缺陷儿 480 例,全孕期出生缺陷发生率为 175.47/万(480/27 355),两类人群的全孕期出生缺陷发生率基本相同,差异无统计学意义。人群监测层面,4 年内共收集分娩军人胎儿 2 198 例,其中出生缺陷儿 48 例(孕 12 周至孕 27^{+6} 周缺陷儿 11 例,占总缺陷儿的 22.92%),全孕期出生缺陷发生率为 218.38/万(48/2 198)。

医院监测的前 5 位出生缺陷依次为:外耳畸形(9 例,27.27%)、并指(趾)和/或多指(趾)(8 例,24.24%)、先天性心脏病(6 例,18.18%)、肛门闭锁(3 例,9.09%)、尿道下裂(3 例,9.09%)。人群监测的前 6 位出生缺陷依次为:外耳畸形(13 例,27.08%)、并指(趾)和/或多指(趾)(10 例,20.83%)、先天性心脏病(8 例,16.67%)、唇腭裂(3 例,6.25%)、尿道下裂(3 例,6.25%)、足内翻(3 例,6.25%)。因本研究收集数据中并指(趾)和多指(趾)基本同时出现,故统计时将其合并为一项出生缺陷。无论是医院监测,还是人群监测,出生缺陷的前 3 顺位均为外耳畸形、并指(趾)和/或多指(趾)、先天性心脏病。

2.2 出生缺陷的单因素分析

无论是医院监测层面,还是人群监测层面,出生缺陷组和正常新生儿组的孕母年龄、产次、家庭收入、夫妻双方吸烟或被动吸烟、饮酒、家族史、睡眠时长以及日常运动等一般情况比较差异无统计学意义。

无论是医院监测层面,还是人群监测层面,出生缺陷组母亲的文化程度低于正常新生儿组,两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。出生缺陷组母亲的牛奶摄入量≥500 mL/周的比例低于正常新生儿组,两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

在医院监测和人群监测中,两组母亲在孕期服用叶酸、接触放射线、不良情绪、患传染性或感染性疾病、接触燃煤农药等有毒有害物质情况的差异无统计学意义。

在医院监测和人群监测中,出生缺陷儿与正常新生儿组比较,出生缺陷儿父母暴露于雷达、高电磁辐射或无线电波的工作环境,两者差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

2.3 出生缺陷的多因素 Logistic 回归分析

为进一步排除混杂因素的干扰,分析寒区军人子女出生缺陷的独立影响因素,以发生出生缺陷作为因变量(Y),以单因素分析中 $P<0.1$ 的 8 个因素(文化程度、摄入牛奶量、雷达暴露、无线电波暴露、高电磁辐射暴露、武器制造或试验、噪音、低温)作为自变量(X),进行多因素 Logistic 回归分析。结果显示,母亲文化程度在大专及以下($OR=2.218$)、双亲一方或双方有雷达暴露($OR=2.179$)、无线电波暴露($OR=3.446$)、高电磁辐射暴露($OR=2.687$)是出生缺陷发生的危险因素,母亲摄入牛奶≥500 mL/周($OR=0.546$)是保护性因素,武器制造或试验、噪音、低温无显著影响。见表 3。

表 1 母亲文化程度及牛奶摄入量情况的比较[例(%)]

影响因素	医院监测				人群监测			
	出生缺陷组($n=33$)	正常新生儿组($n=1\,850$)	χ^2 值	P 值	出生缺陷组($n=48$)	正常新生儿组($n=2\,150$)	χ^2 值	P 值
文化程度:大专及以下	21(63.6)	829(44.8)	4.640	0.031	30(62.5)	998(46.4)	4.877	0.027
摄入牛奶量≥500 mL/周	19(57.6)	1 404(75.9)	5.892	0.015	26(54.2)	1 464(68.1)	4.170	0.041

表 2 特殊作业、化学暴露、放射辐射暴露、不良环境暴露等对出生缺陷影响的单因素分析[例(%)]

影响因素	医院监测				人群监测			
	出生缺陷组($n=33$)	正常新生儿组($n=1\,850$)	χ^2 值	P 值	出生缺陷组($n=48$)	正常新生儿组($n=2\,150$)	χ^2 值	P 值
雷达	10(30.3)	311(16.8)	4.174	0.041	20(41.7)	332(15.4)	24.008	0.000
无线电波	16(48.5)	556(30.1)	5.207	0.022	25(52.1)	387(18.0)	35.811	0.000
高电磁辐射	7(21.2)	192(10.4)	4.026	0.045	12(25.0)	192(8.9)	14.400	0.000

表 3 出生缺陷影响因素的多因素 Logistic 回归分析结果

因素	β	SE	Wald	P	OR	95%CI
文化程度:大专及以下	0.796	0.311	6.547	0.011	2.218	1.205~4.082
牛奶摄入量≥500 mL/周	-0.606	0.305	3.935	0.047	0.546	0.300~0.993
雷达	0.779	0.337	5.326	0.021	2.179	1.125~4.221
无线电波	1.237	0.334	13.754	0.000	3.446	1.792~6.626
高电磁辐射	0.988	0.363	7.398	0.007	2.687	1.318~5.478
武器制造或试验	0.277	0.476	0.338	0.561	1.319	0.519~3.351
噪音	0.116	0.341	0.116	0.734	1.123	0.575~2.192
低温	0.305	0.406	0.565	0.452	1.357	0.612~3.006

3 讨论

出生缺陷是一类造成儿童残疾或死亡,严重影响儿童生命和生活质量的疾病。出生缺陷的病因众多,其中遗传因素占比 20%~30%,环境因素占比约 10%,而其余则为多因素共同作用的结果[7-8]。本研究的单因素分析与多因素 Logistic 回归分析结果一致,影响寒区军人子女出生缺陷的危险因素主要有母亲文化程度、双亲一方或双方存在雷达暴露、无线电波暴露和高电磁辐射暴露,保护因素有母亲摄入牛奶量≥500 mL/周。

3.1 出生缺陷发生率

本研究显示,以沈阳市为代表的寒区军人子女医院监测和人群监测的全孕期出生缺陷发生率分别为 175.25/万、218.38/万。随着出生缺陷随访时间的延长,更多的出生缺陷被发现和诊断,例如食道闭锁或狭窄、直肠闭锁或狭窄、先天性膈疝等,因此人群监测下的出生缺陷发生率较医院监测的高。国内大样本研究显示,出生后 7 d 出生缺陷发生率为 1.0%~2.2%,而出生后 3 年内出生缺陷发生率为 5.16%[9-10]。此外,部分出生缺陷疾病需长大后才依靠临床表现得以诊断,例如先天愚型、马蹄内翻足等,从而得到不同的随访数据及发生率。本研究显示,以沈阳市为代表的医院监测下寒区军人子女和地方群众子女的全孕期出生缺陷发生率基本一致(175.25/万、175.47/万)。

3.2 出生缺陷顺位

全国出生缺陷发生率前 5 位分别为先天性心脏病、多指(趾)、唇腭裂、神经管缺陷、先天性脑积水[2]。近年来,多项研究均显示先天性心脏病仍居我国围产儿出生缺陷首位,而先天性外耳畸形发病率呈上升趋势,已跃居前 5 名,部分地区可达前 3 名[11-13]。本研究结果显示,在医院监测和人群监测中,以沈阳为代表的寒区军人子女出生缺陷发生顺位前 3 位均为外耳畸形、并指(趾)和/或多指(趾)、先天性心脏病。与以往地方群众出生缺陷顺位排序不同,寒区军人子女先天性心脏病仅排第 3 位。分析其原因,首先,先天性心脏病是由遗传因素、环境因素单独作用或共同作用所导致的[14]。军人身体素质良好,先心病或其他可能诱发子代先心病的疾病在军人中发生率明显低于地方群众,这都降低了军人子女因遗传因素发生先心病的可能,进而降低其出生缺陷中先心病的排名。其次,人群监测中可追加诊断的出生缺陷类型,如食道闭锁或狭窄、马蹄内翻足等,其发病率均远低于先天性心脏病。尽管人群监测中对以上疾病进行了追加诊断,仍不影响出生缺陷顺位排序[14-16]。外耳畸形包括小耳畸形、无耳畸形、耳前赘生物(也称附耳)、中耳畸形、低位耳伴外耳道闭锁等,是一种表观畸形,因其临床特征明显,出生后即可被直观诊断,且近年来被重视和规范诊疗,因此顺位排名靠前,这与以往研究结果相同[13]。

3.3 出生缺陷影响因素

本研究显示,母亲摄入牛奶量≥500 mL/周是出生缺陷发生的保护性因素。钙是胎儿宫内生长发育的必需营养素,缺乏易导致胎儿发育不良。与普通人群相比,孕妇对钙的需求量更大。孕妇对钙的摄入可通过饮食和钙剂补充。牛奶中通常钙含量为 100~120 mg/mL。《孕期妇女膳食指南》中推荐:孕早期摄入奶类 300 g/d,孕中、晚期增加至 500 g/d[17]。孕期补充足量的钙,能促进胎儿神经、骨骼等多个系统发育,降低相关出生缺陷的发生。

本研究显示,双亲一方或双方存在雷达暴露、无线电波暴露和高电磁辐射暴露是出生缺陷发生的危险因素。雷达、无线电以及其他高电磁辐射装备都是通过产生、发射或接收不同波段的电磁波进行运作,其产生的电磁环境是威胁战士健康的三大主要战场环境暴露来源之一。电磁辐射具有的累积效应能对人体的伤害程度发生累积,即使是长期低频的电磁辐射也可能造成严重损伤。电磁辐射环境可引起负性生物学效应,损伤心血管、生殖、听觉、神经等多系统,其中卵巢和睾丸是电磁辐射敏感的靶器官之一[18-21]。研究调查发现,短时间急性高强度或长时间持续慢性低强度电磁辐射暴露,均能破坏卵巢功能,改变囊状卵泡、颗粒细

胞的数量和质量,引起生殖细胞基因突变及表观遗传的改变,使暴露的亲本出现不孕或生育能力减弱等生物能力改变,胎儿出现有害突变或出生缺陷[22-23]。对于男性,长期接触电磁辐射能引起睾丸明显的病理形态学改变,使精子运动能力降低、精子畸形率升高,使性功能障碍发生率增高、1年内自然受孕能力下降[24-25]。这可能与电磁辐射加重睾丸组织氧化损伤、增加生精细胞凋亡、损伤睾丸功能有关,而氧化损伤是造成睾丸组织结构损伤的重要原因之一[26-27]。这些研究结果均支持雷达暴露、无线电波暴露和高电磁辐射暴露是出生缺陷发生的危险因素。尽管寒区军人以上危险因素暴露率高,但本研究结果提示其子女出生缺陷发生率和地方群众子女的全孕期出生缺陷发生率基本一致。分析其原因,考虑军人是经过选拔身体素质良好的群体,本身的遗传疾病、代谢性疾病等可能导致子代出生缺陷的疾病发生率低于一般群众,尽管需要暴露于某些危险因素环境下,但其总的子代出生缺陷发生率并未升高。

此外,本研究结果提示,出生缺陷组母亲文化程度低于正常新生儿组,该结论与既往研究相同[28]。这可能与低文化程度的孕产妇缺乏优生优育的保健知识,易忽视孕期规范产检有关。而且低文化程度人员无意识情况下接触有致畸作用的有毒有害物质可能性更大。

本文未调查母亲孕期钙剂补充情况,未对雷达、无线电波和高电磁辐射的暴露时长、保护措施使用情况等信息进行收集分析,存在一定局限性。

综上所述,寒区军人子女全孕期出生缺陷发生率与本地地方群众基本相同。因其特殊工作环境和性质,雷达暴露、无线电波暴露和高电磁辐射暴露成为影响寒区军人子女出生缺陷发生率的危险因素。针对以上影响因素,军队应尽可能加强特殊环境下的保护措施,对有生育要求的人员进行岗位调整,加强孕前和围孕期母婴知识宣传等出生缺陷一级预防手段,重视医疗资源匮乏地区产前筛查、产前诊断等二级预防措施,力求构建符合寒区军人子女且经济有效的出生缺陷三级防治规范化体系,达到降低寒区军人子女出生缺陷率的目标。

参考文献:

[1] 谢幸, 孔北华, 段涛. 妇产科学[M]. 9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 62-69, 133, 433.
XIE X, KONG B H, DUAN T. Obstetrics and gynecology [M]. 9th Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 62-69, 133, 433.

[2] 中华人民共和国卫生部. 中国出生缺陷防治报告(2012)[R]. 北京:中华人民共和国卫生部, 2012:1-3, 7, 9.
Ministry of Health of the People's Republic of China. China birth defect prevention report(2012)[R]. Beijing: Ministry of Health of the People's Republic of China, 2012: 1-3, 7, 9.

[3] FELDKAMP M L, CAREY J C, BYRNE J L B, *et al*. Etiology and clinical presentation of birth defects: population based study[J]. Br Med J, 2017, 357: j2249. DOI: 10.1136/bmj.j2249.

[4] MAI C T, ISENBURG J L, CANFIELD M A, *et al*. National population-based estimates for major birth defects, 2010-2014[J]. Birth Defects Res, 2019, 111(18): 1420-1435. DOI: 10.1002/bdr2.1589.

[5] 陈涣涣, 蔡芬. 战场环境暴露对女兵生殖毒性及子代出生缺陷的研究进展[J]. 东南国防医药, 2019, 21(5): 496-500. DOI: 10.3969/j.issn.1672-271X.2019.05.011.
CHEN H H, CAI F. Advances in research of battlefield environmental exposure on reproductive toxicity and birth defects of female soldiers[J]. Mil Med J Southeast China, 2019, 21(5): 496-500. DOI: 10.3969/j.issn.1672-271X.2019.05.011.

[6] 丁晓萍, 闫素文, 张宁, 等. 寒冷地区部队指战员精液质量的调查[J]. 中华流行病学杂志, 2003, 24(3): 206-209. DOI: 10.3760/j.issn: 0254-6450.2003.03.012.
DING X P, YAN S W, ZHANG N, *et al*. Study on sperm quality of males living in cold area[J]. Chin J Epidemiol, 2003, 24(3): 206-209. DOI: 10.3760/j.issn: 0254-6450.2003.03.012.

[7] LUPO P J, MITCHELL L E, JENKINS M M. Genome-wide association studies of structural birth defects: a review and commentary[J]. Birth Defects Res, 2019, 111(18): 1329-1342. DOI: 10.1002/bdr2.1606.

[8] 孙丽雅, 邢清和, 贺林. 中国出生缺陷遗传学研究的回顾与展望[J]. 遗传, 2018, 40(10): 800-813. DOI: 10.16288/j.yczz.18-181.
SUN L Y, XING Q H, HE L. Retrospect and prospect of the genetic research on birth defects in China[J]. Hereditas, 2018, 40(10): 800-813. DOI: 10.16288/j.yczz.18-181.

[9] YAN J H, HUANG G N, SUN Y P, *et al*. Birth defects after assisted reproductive technologies in China: analysis of 15,405 offspring in seven centers (2004 to 2008)[J]. Fertil Steril, 2011, 95(1): 458-460. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2010.08.024.

[10] YIN L, HANG F, GU L J, *et al*. Analysis of birth defects among children 3 years after conception through assisted reproductive technology in China[J]. Birth Defects Res A Clin Mol Teratol, 2013, 97(11): 744-749. DOI: 10.1002/bdra.23116.

[11] 全国妇幼卫生年报办公室. 全国妇幼卫生监测及年报通讯[R]. 北京:北京大学公共卫生学院妇幼卫生系, 2019: 9-10.
Annual Report National Office of Maternal and Child Health.

Maternal and child health surveilance and annual report of China [R]. Beijing: Department of Maternal and Child Health, School of Public Health, Peking University, 2019: 9-10.

[12] ZHOU Y, MAO X Q, ZHOU H, *et al*. Birth defects data from population-based birth defects surveillance system in a district of southern Jiangsu, China, 2014-2018[J]. Front Public Health, 2020, 8: 378. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00378.

[13] 刘亚兰. 北京市东城区围产儿出生缺陷监测分析[J]. 中国优生与遗传杂志, 2014, 22(2):94-95,86.
LIU Y L. Surveillance of birth defects in perinatal infants in Dongcheng district of Beijing[J]. Chin J Birth Health Hered, 2014, 22(2):94-95,86.

[14] 张婧. 先天性心脏病病因和预防的研究进展[J]. 中国循证儿科杂志, 2012, 7(3): 231-238. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2012.03.015.
ZHANG J. Research progress on etiology and prevention of congenital heart disease[J]. Chin J Evid Based Pediatr, 2012, 7(3): 231-238. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2012.03.015.

[15] PAVONE V, CHISARI E, VESCIO A, *et al*. The etiology of idiopathic congenital talipes equinovarus: a systematic review[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 206. DOI: 10.1186/s13018-018-0913-z.

[16] 杨星海, 魏明发. 先天性食道闭锁治疗现状[J]. 临床小儿外科杂志, 2005, 4(2): 130-132. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2005.02.016.
YANG X H, WEI M F. Current situation of congenital esophageal atresia[J]. J Clin Pediatr Surg, 2005, 4(2): 130-132. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2005.02.016.

[17] 中国营养学会膳食指南修订专家委员会妇幼人群膳食指南. 孕期妇女膳食指南[J]. 中华围产医学杂志, 2016, 19(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2016.09.001.
Maternal and Child Working Group of Chineses Nutrition Society Expert Committee for Dietary Guidelines. Dietary guide for pregnant women[J]. Chin J Perinat Med, 2016, 19(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2016.09.001.

[18] DASDAG S, AKDAG M Z, ERDAL M E, *et al*. Long term and excessive use of 900 MHz radiofrequency radiation alter microRNA expression in brain[J]. Int J Radiat Biol, 2015, 91(4): 306-311. DOI: 10.3109/09553002.2015.997896.

[19] LAI J S, ZHANG Y M, ZHANG J G, *et al*. Effects of 100-μT extremely low frequency electromagnetic fields exposure on hematograms and blood chemistry in rats[J]. J Radiat Res, 2016, 57(1): 16-24. DOI: 10.1093/jrr/rrv059.

[20] 王春艳. 高强度微波辐射对雄性大鼠生殖系统的损伤作用[J]. 吉林医药学院学报, 2015, 36(5): 338-340.
WANG C Y. The damage of high power microwave radiation to the reproductive system of male rats[J]. J Jilin Med Univ, 2015, 36(5): 338-340.

[21] 杨红红, 左汶奇, 钟时勋. 手机电磁辐射对听觉系统影响的研究进展[J]. 中华耳科学杂志, 2021, 19(2): 296-300. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2922.2021.02.022.
YANG H H, ZUO W Q, ZHONG S X. Advances in research on effects of electromagnetic radiation on auditory system[J]. Chin J Otol, 2021, 19(2): 296-300. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2922.2021.02.022.

[22] KHAN F, NIAZ K, ISMAIL HASSAN F, *et al*. An evidence-based review of the genotoxic and reproductive effects of sulfur mustard[J]. Arch Toxicol, 2017, 91(3): 1143-1156. DOI: 10.1007/s00204-016-1911-8.

[23] HU J J, YU Y X. Epigenetic response profiles into environmental epigenotoxicant screening and health risk assessment: a critical review[J]. Chemosphere, 2019, 226: 259-272. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.03.096.

[24] 叶玲玲, 索永善, 曹文丽, 等. 雷达辐射对精液质量的影响[J]. 中华男科学杂志, 2007, 13(9): 801-803. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3591.2007.09.009.
YE L L, SUO Y S, CAO W L, *et al*. Radar radiation damages sperm quality[J]. Natl J Androl, 2007, 13(9): 801-803. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3591.2007.09.009.

[25] 闫素文, 张宁, 汤洁, 等. 低剂量微波辐射对男性生殖力的影响[J]. 中华男科学杂志, 2007, 13(4): 306-308. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3591.2007.04.004.
YAN S W, ZHANG N, TANG J, *et al*. Long-term exposure to low intensity microwave radiation affects male reproductivity[J]. Natl J Androl, 2007, 13(4): 306-308. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3591.2007.04.004.

[26] SARIKA S, NEERU K. Health implications of electromagnetic fields, mechanisms of action, and research needs[J]. Adv Biol, 2014, 2014: 1-24.

[27] GAVRILIOUK D, AITKEN R J. Damage to sperm DNA mediated by reactive oxygen species: its impact on human reproduction and the health trajectory of offspring[J]. Adv Exp Med Biol, 2015, 868: 23-47. DOI: 10.1007/978-3-319-18881-2_2.

[28] 郑莉, 郭阳春. 体外受精-胚胎移植中父母年龄、职业、文化程度与出生缺陷的分析[J]. 实用医学杂志, 2019, 35(17): 2794-2798. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2019.17.025.
ZHENG L, GUO Y C. Analysis of relationship between parent characteristicsandbirth defects in *in-vitro* fertilization-embryo transfer[J]. J Pract Med, 2019, 35(17): 2794-2798. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2019.17.025.

(**收稿**:2022-09-30;**修回**:2022-12-09)

(编辑 张艺霖)