

## 北京市地方标准DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》解读

### Interpretation of Beijing local standard DB11/T 1930—2021 *Quality control specification for tests of chromosome aberration and micronucleus in radiation workers' health examinations*

Yang Mengdi, Li Yu, Wang Rugang, Zhao Fanghong

引用本文:

杨梦迪, 李煜, 王如刚, 等. 北京市地方标准DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》解读[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2022, 46(9): 550–554. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215

Yang Mengdi, Li Yu, Wang Rugang, et al. Interpretation of Beijing local standard DB11/T 1930—2021 *Quality control specification for tests of chromosome aberration and micronucleus in radiation workers' health examinations*[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(9): 550–554. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 核医学工作人员和受检者辐射防护现状

The status of radiation protection and control strategy for nuclear medicine workers and patients

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(4): 298–302 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.04.012>

#### 2016年天津市部分区医用X射线摄影机质量控制状态检测结果与分析

Quality control status test and analysis of partial radiography unit in Tianjin

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(3): 257–260 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.03.011>

#### 低剂量电离辐射职业接触人群的健康效应研究进展

Research progress in the health effects of radiation workers induced by low-dose ionizing radiation

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(8): 534–540 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201904013-00050>

#### 医用数字X射线摄影机验收检测结果分析

Analysis for acceptance test results of quality control in medical digital radiography equipment

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(6): 365–373 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202002028-00032>

#### 2019年天津市放射诊疗工作场所辐射防护检测结果分析

Analysis of radiation protection testing results in the radiation diagnosis and treatment workplaces in Tianjin in 2019

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(3): 170–175 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202004020-00035>

#### 加强新型冠状病毒肺炎后疫情时期核医学诊疗工作的防控

Strengthening the prevention and control measurement during nuclear medicine diagnosis and treatment in the post-COVID-19 period

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(10): 607–609 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202009032-00086>

·规范与共识·

# 北京市地方标准 DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》解读

杨梦迪<sup>1</sup> 李煜<sup>1,2</sup> 王如刚<sup>1</sup> 赵芳红<sup>1</sup><sup>1</sup>北京市疾病预防控制中心职业卫生所, 北京 100029; <sup>2</sup>首都医科大学公共卫生学院, 北京 100069通信作者: 李煜, Email: [im\\_liyu@163.com](mailto:im_liyu@163.com)

**【摘要】** 为正确贯彻执行北京市地方标准 DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》, 更好地指导放射工作人员健康体检机构遗传学检测工作, 笔者对该标准的制定背景、主要依据及主要技术内容进行了解读。该标准是在广泛调研国内外文献的基础上, 依据相关法律法规及国家和行业标准, 并广泛征求同行专家意见的基础上制定的。该标准规定了放射工作人员健康检查中, 开展人外周血淋巴细胞染色体畸变检测和微核检测的基本要求、实验室和仪器设备的要求以及试验过程中的质量控制。对该标准的解读可指导放射工作人员健康体检机构遗传学实验室更加规范、科学地开展工作, 更好地保障放射工作人员的安全和健康。

**【关键词】** 质量控制; 染色体畸变; 微核检测; 规范; 放射工作人员DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215)

## Interpretation of Beijing local standard DB11/T 1930—2021 *Quality control specification for tests of chromosome aberration and micronucleus in radiation workers' health examinations*

Yang Mengdi<sup>1</sup>, Li Yu<sup>1,2</sup>, Wang Rugang<sup>1</sup>, Zhao Fanghong<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of Occupational Health, Beijing Center for Disease Prevention and Control, Beijing 100029, China; <sup>2</sup>School of Public Health, Capital Medical University, Beijing 100069, ChinaCorresponding author: Li Yu, Email: [im\\_liyu@163.com](mailto:im_liyu@163.com)

**【Abstract】** In order to correctly implement the Beijing local standard DB11/T 1930—2021 *Quality control specification for tests of chromosome aberration and micronucleus in radiation workers' health examinations*, and better guide the cytogenetic testing for radiation workers in health examination institutions, the background, main basis and main technical content of the standard were interpreted. This standard was formulated on the basis of extensive research on domestic and foreign literature, in accordance with relevant laws and regulations, national and industry standards, and on the basis of extensive consultation with peer experts. The basic requirements, laboratory and equipment requirements, and quality control for the test process of chromosomal aberrations and micronucleus in human peripheral blood lymphocytes during the health examination of radiation workers were specified in this standard. The interpretation of the standard can be used to guide the genetic laboratory of the occupational health examination institution of radiation workers to work in a more standardized and scientific way, and better ensure the safety and health of the radiation workers.

**【Key words】** Quality control; Chromosome aberrations; Micronucleus tests; Specification; Radiation workersDOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202205005-00215)

随着核能和核技术的开发和利用,放射性装置已在工业、农业、国防、医学以及科学研究等各个领域得到了广泛应用。放射工作人员在工作过程中可能会受到低剂量电离辐射,存在一定的辐射损伤风险<sup>[1-2]</sup>,因此,国家相关标准严格规定,需要定期对放射工作人员进行外周血淋巴细胞染色体畸变和微核的检测及评价。DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》从基本要求、实验室及仪器设备要求、染色体畸变及微核检测过程等全方面对这2个遗传学检测的质量控制进行了规定。为更好地指导放射工作人员健康体检机构在遗传学检测方面的工作,笔者对该标准进行了解读。

## 1 背景、目的和意义

### 1.1 背景

2019年的《职业健康检查管理办法》<sup>[3]</sup>取消了卫生健康主管部门对职业健康检查机构的审批权,将医疗卫生机构开展职业健康检查的审批制修改为备案制,同时提出加强职业健康检查机构的质量控制管理工作的要求。2019年,中国疾病预防控制中心也颁布了《职业健康检查质量控制规范(试行)》<sup>[4]</sup>。GBZ 98—2020《放射工作人员健康要求及监护规范》<sup>[5]</sup>规定,放射工作人员上岗前和离岗时要进行外周血淋巴细胞染色体畸变分析,在岗期间要进行外周血淋巴细胞微核检测。这两项遗传学检测是放射工作人员健康监护以及评价放射医学效应的重要指标,是最直接反映辐射损伤的检查项目之一。随着政策的放开,预计将有大批医疗机构包括民营机构进入职业健康检查市场,实验过程复杂、影响因素多的细胞遗传学检测若没有质量控制,将难以保证有规范结果,可能会造成不良影响。

放射工作人员细胞遗传学检测目前存在的问题有以下3个方面。

(1)细胞遗传学检测在临床实验室检测中有手工操作多、环节多、时间长等特点。在样品接收、培养、制片及阅片等很多步骤中都需要进行质量控制<sup>[6-7]</sup>。但目前国内尚未建立完整完善的细胞遗传学检测质量控制办法及标准。

(2)细胞遗传学检测需要技术人员有一定的知识积累和熟练的操作技能,所以技术人员上岗前应接受正规系统的培训。目前国内尚无细胞遗传学

检测人员培训及资质认证、考评体系。

(3)无国家或行业标准对淋巴细胞微核检测部分内容(如双核淋巴细胞判定方法)进行规定;北京各体检机构微核检测方法、记录和报告格式等都不一致。

### 1.2 目的和意义

在此背景下,DB11/T 1930—2021《放射工作人员健康检查染色体畸变和微核检测质量控制规范》起草组于2019年11月申请对放射工作人员细胞遗传学检测的质量控制制定北京市地方标准并获得立项。

该地方标准将通过对外周血淋巴细胞染色体畸变和微核检测制定和实施质量控制规范,提升放射工作人员职业健康检查机构的服务能力,并为职业健康检查机构的自主管理,卫生健康行政部门对职业健康检查机构的备案认定、年检、复审以及卫生监督机构和质量管理部门的监督检查提供技术支撑和法律依据。

## 2 基础和依据

在管理要求方面,《职业健康检查管理办法》<sup>[3]</sup>规定,医疗卫生机构应当具有开展相应的职业健康检查的检验室;具有与备案开展的职业健康检查类别和项目相适应的医疗卫生技术人员;具有与备案开展的职业健康检查类别和项目相适应的仪器、设备;建立职业健康检查质量管理制度;具有与职业健康检查信息报告相应的条件。医疗卫生机构进行职业健康检查备案时,应提交证明其符合以上条件的有关资料。

在技术内容方面,GBZ/T 248—2014《放射工作人员职业健康检查外周血淋巴细胞染色体畸变检测与评价》<sup>[8]</sup>制定了染色体畸变检测的微量全血培养、标本制备、畸变分析、结果评价、记录报告方法和部分质量控制,这是该标准在制定过程中的主要参考标准。卫生行业标准WS/T187—1999《淋巴细胞微核估算受照剂量方法》<sup>[9]</sup>中有部分关于微核试验的方法及微核判定的办法,该标准在此基础上进一步细化并增加了质量控制内容。此外,该标准还参考了国际原子能机构2011年出版的*Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies*<sup>[10]</sup>以及Springer方案*Genotoxicity assessment methods and protocols*

Second Edition<sup>[11]</sup>。

### 3 内容解读

#### 3.1 技术人员的要求

对放射工作人员细胞遗传学的检测尤其是染色体畸变的分析,需要技术人员有一定的知识、经验积累,因此质量管理应该以人为本,培养有良好素质和专业技能过硬的技术人员,这是保证遗传学检测质量的基础。

在知识技能方面,除要求技术人员了解或熟悉相关法律、法规,掌握 GBZ/T 248—2014、WS/T 187—1999 等中的专业知识外,还增加了其对 GB/T 28236—2011《染色体畸变估算生物剂量方法》<sup>[12]</sup> 的学习内容。这对建立实验室的染色体畸变的剂量-效应曲线、减少染色体分析中的系统误差、提升染色体畸变分析水平将起到积极作用。

在培训考核方面,专业技术人员应参加资格考试和实验室间比对以及实验室间比对的考核。对接受培训的人员需进行理论知识及专业技能的考核,染色体和微核标本制片合格率、识别准确率需达到一定标准以上,且全部考核合格后方可上岗;已经上岗的技术人员每年要参加实验室内技术能力的考核,还要每两年参加一次职业健康检查质量控制机构组织的实验室间比对。

#### 3.2 仪器设备的要求

对于仪器设备的管理,该标准内容显示,实验室主要仪器(如电子天平、培养箱、超净工作台或生物安全柜、离心机、显微镜及灭菌设备等)需要有使用及维护保养记录且均需每年检定或校准。在仪器设备要求方面,随着科技的发展,新型设备及自动化仪器不断出现,极大提高了工作效率,因此国内多家放射工作人员职业健康检查机构购置了全自动染色体扫描分析系统、细胞自动收获仪、自动制片仪、自动染片机或自动接种仪等,为适应新形势,将新型自动化仪器作为有条件的实验室的一种选择纳入该标准中。为应对大批量样本的上清液移除,将负压移液装置或真空吸液泵列为实验室必备设备。为及时捕获染色体畸变及微核细胞,留存试验证据,将高分辨率数码摄像装置列为必备设备。甲醛作为固定液的主要成分,可引起慢性阻塞性肺病、哮喘以及皮肤病<sup>[13]</sup>,为保护专业技术人员的健康,避免甲醛等有害气体对人体的损伤,将通风

橱、排风罩等排风装置列为必备设备,并规定工作场所所有毒物质浓度应符合 GBZ 2.1—2019《工作场所所有害因素职业接触限值第1部分:化学有害因素》<sup>[14]</sup> 的要求。

#### 3.3 实验室的要求

遗传实验室的细胞培养间是避免污染保证实验质量的重要因素,GBZ248—2014<sup>[8]</sup> 规定,应在普通实验室中放置超净工作台及培养箱,使其具有前期准备、细胞接种、培养、制片、染色等多种功能。该标准中规定,细胞培养间为必备设施,这样可有效避免污染;普通实验室(该标准名称改为制片室)的面积宜 > 20 m<sup>2</sup>,以应对体检机构大批量样本处理的需求。

#### 3.4 实验过程的质量控制

##### 3.4.1 血液样本的质量控制

血液样本的完整性对于检测的质量控制至关重要。国际原子能机构 2011 年出版物 *Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies*<sup>[10]</sup> 中规定,如果不能及时培养细胞,可在静脉取血后立即用植物血凝素刺激淋巴细胞,并将其保持低温(低于 20℃),使淋巴细胞不会转化进入细胞周期,直到细胞升温至 37℃,从而克服这个问题;血液样本在运输过程中最好保持在 18℃~24℃,可以允许 2~3 d 的运输时间。此外,Springer 方案<sup>[11]</sup> 在人淋巴细胞染色体畸变检测注意事项中规定,如果不能及时接种,保持淋巴细胞生长能力的最佳温度是 18℃~24℃。因此该标准规定了血液运输和保存的最佳温度为 18℃~24℃,且样本保存时间不宜超过 72 h;可将血液接种到含植物血凝素培养基后于 4℃~20℃ 环境中保存。该标准中这条血液样本的质量控制与 GBZ/T 248—2014<sup>[8]</sup> 有所不同。

##### 3.4.2 关键试剂的质量控制

培养基和松胞素 B 为检测过程中的 2 个关键试剂。该标准规定了对培养基以及松胞素 B 的质量控制。更换厂家或批次的培养基、松胞素 B,应进行比对试验,进行试剂的验收。

##### 3.4.3 细胞不同染色体畸变及表示方法

该标准在 GBZ/T 248—2014<sup>[8]</sup> 基础上增加了细胞中不同染色体畸变及其表示方法。目前各检测机构对阅片过程中使用的各种染色体畸变的表示方法并不统一,有的用图形表示,有的用符号表示。尤

其当细胞中出现不同数目的双着丝粒体、着丝粒环、三着丝粒体以及无着丝粒体时,各机构即使用符号表示也各不相同。GBZ/T 248—2014<sup>[8]</sup>中已经定义了dic(1)或r(1)、dic(0)或r(0),以此为基础,该标准对于更复杂的染色体畸变类型表示方法进行了规定。

#### 3.4.4 染色体阅片的质量控制

受体力和眼睛疲劳度的影响,染色体畸变每天的人工阅片数量受到限制<sup>[15]</sup>。一般情况下,人工分析50个细胞需要用时1 h<sup>[16-17]</sup>;Vaurijoux等<sup>[17]</sup>报道,在Dakar事故中,对伤员进行早期分类时,每人每天分析的细胞数目为260~300个;Bi等<sup>[15]</sup>报道,在传统人工镜检中,每个技术员每天只能分析1~2个样品(每个样品分析200个细胞)。因此该标准规定人工阅片实验室每天的宜阅片数量为2~4张。

对于使用全自动扫描分析系统的实验室,由于实际上仅对扫描出的染色体中期分裂相图片进行识别,不能像人工阅片时通过调焦进一步对畸变细胞不同焦平面的图像进行识别鉴定,所以容易造成误判。因此,如系统拍摄到畸变细胞,还应该进一步进行人工镜检,并通过核型分析软件确认。具备全自动染色体扫描分析系统的实验室一般还要跟其他1~2台普通正置显微镜进行坐标转换,将扫描到的畸变细胞重新定位进行人工镜检确认<sup>[18]</sup>。

目前,双着丝粒识别软件对于染色体畸变识别存在以下问题:(1)由于染色体大小和位置的多样性,软件并不能精确识别出染色体数目为 $46\pm 1$ 的中期分裂相<sup>[16]</sup>;(2)能够识别出的双着丝粒较少,仅为人肉眼识别的40%~70%<sup>[10, 16, 19]</sup>;(3)软件对两条碰在一起的染色体或者交叠的染色体的识别能力差,故假阳性率高,每1 000个细胞中约有40~90个双着丝粒识别错误<sup>[16]</sup>;(4)软件只能识别双着丝粒或多着丝粒畸变,对于着丝粒环、断片、微小体、无着丝粒环、相互易位、倒位等均不能识别<sup>[15]</sup>,而后者也是评价电离辐射细胞遗传损伤的重要指标。所以该标准规定使用着丝粒自动扫描分析系统的实验室需经人工分析判定,不应仅通过软件识别。

该标准规定,在按照GBZ/T 248—2014<sup>[8]</sup>染色体畸变检测结果评价为异常时,宜另外追加分析100个细胞,并计算此200个细胞的染色体畸变率

进行结果评价,或者是通知受检者复查。另外追加分析100个细胞符合GBZ/T 248—2014中每个受检者至少分析100个中期分裂细胞的要求,且如果结果是阴性,可使受检者免于复查,节省时间。

该标准规定了对染色体畸变识别和微核阅片准确率的要求,为职业健康检查质量控制机构和卫生监督机构进行检查提供了质量判定标准。

#### 3.4.5 外周血淋巴细胞微核检测方法的規定

该标准明确了外周血淋巴细胞微核实验方法为胞质分裂阻滞微核测定法<sup>[20]</sup>,这种方法与常规培养法相比可显著提高微核检测的灵敏度和准确率。该标准还规定了双核淋巴细胞的判定方法<sup>[21]</sup>。

## 4 小结

职业健康监护是职业病防治工作的基础和前提。该标准适用于本市放射工作人员职业健康检查机构,服务于全市放射工作人员群体,是涉及北京市全市性的关键共性技术。该地方标准通过制定北京市放射工作人员染色体畸变和微核检测的质量控制规范,使放射工作人员职业健康检查机构遗传学实验室能更加规范、科学地开展工作的,更好地保障放射工作人员的安全和健康。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 杨梦迪负责文献的收集整理、论文的撰写;李煜负责写作思路的拟定、指导论文的撰写、论文的审阅;王如刚、赵芳红负责论文的修订

## 参 考 文 献

- [1] Moriarty HK, Clements W, Phan T, et al. Occupational radiation exposure to the lens of the eye in interventional radiology[J]. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 2022, 66(1): 34-40. DOI: 10.1111/1754-9485.13307.
- [2] Wilson-Stewart K, Shanahan M, Fontanarosa D, et al. Occupational radiation exposure to nursing staff during cardiovascular fluoroscopic procedures: a review of the literature[J/OL]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(6): 282-297[2022-05-06]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acm2.12461>. DOI: 10.1002/acm2.12461.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 职业健康检查管理办法[EB/OL]. (2019-02-28) [2022-05-06]. <http://law.foodmate.net/show-212385.html>. National Health Commission of the People's Republic of China. Measures for the administration of occupational health inspections [EB/OL]. (2019-02-28) [2022-05-06]. <http://law.foodmate.net/>

- show-212385.html.
- [4] 中国疾病预防控制中心. 职业健康检查质量控制规范(试行)[EB/OL]. (2019-05-11)[2022-05-06]. [http://www.yw.gov.cn/art/2019/6/4/art\\_1229134765\\_909724.html](http://www.yw.gov.cn/art/2019/6/4/art_1229134765_909724.html). Chinese Center for Disease Control and Prevention. Quality control specification for occupational health inspection (Trial) [EB/OL]. (2019-05-11)[2022-05-06]. [http://www.yw.gov.cn/art/2019/6/4/art\\_1229134765\\_909724.html](http://www.yw.gov.cn/art/2019/6/4/art_1229134765_909724.html).
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 98—2020 放射工作人员健康要求及监护规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 98—2020 Health requirements and surveillance specifications for radiation worker[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [6] 郭彦伟, 龙志高. 外周血染色体检测检验前质量控制[J]. 国际检验医学杂志, 2017, 38(11): 1582—1583. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2017.11.060. Guo YW, Long ZG. Quality control of peripheral blood chromosome detection before testing[J]. *Int J Lab Med*, 2017, 38(11): 1582—1583. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2017.11.060.
- [7] 赖专华, 武永平, 路建超, 等. 外周血淋巴细胞染色体标本制片室内质量控制[J]. 医学动物防制, 2016, 32(1): 112—114. DOI: 10.7629/yxdwzf201601041. Lai ZH, Wu YP, Lu JC, et al. Peripheral blood lymphocyte chromosome specimen tablet internal quality control[J]. *J Med Pest Control*, 2016, 32(1): 112—114. DOI: 10.7629/yxdwzf201601041.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ/T 248—2014 放射工作人员职业健康检查外周血淋巴细胞染色体畸变检测与评价[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. National Health and Family Planning Commission of PRC. GBZ/T 248—2014 Test and assessment of chromosomal aberrations on occupational health examinations for radiation worker[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [9] 中华人民共和国卫生部. WS/T 187—1999 淋巴细胞微核估算受照剂量的方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000. Ministry of Health of the People's Republic of China. WS/T 187—1999 Method of peripheral lymphocyte micronucleus assay for estimating doses exposed[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000.
- [10] International Atomic Energy Agency. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies[R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [11] Dhawan A, Bajpayee M. Genotoxicity assessment methods and protocols[M]. 2nd ed. New York: Humana Press, 2019.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28236—2011 染色体畸变估算生物剂量方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 28236—2011 Method of chromosome aberration analysis for biological dose assessment[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 188—2014 职业健康监护技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. National Health and Family Planning Commission of PRC. GBZ 188—2014 Technical specifications for occupational health surveillance[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 2.1—2019 工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019. National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 2.1—2019 Occupational exposure limits for hazardous agents in the workplace Part 1: chemical hazardous agents[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [15] Bi JL, Dai H, Feng JC, et al. Rapid and high-throughput detection of peripheral blood chromosome aberrations in radiation workers[J/OL]. *Dose Response*, 2019, 17(2): 1559325819840852[2022-05-06]. [https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1559325819840852?url\\_ver=Z39.88-2003&rft\\_id=ori:rid:crossref.org&rft\\_dat=cr\\_pub%20%20pubmed](https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1559325819840852?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori:rid:crossref.org&rft_dat=cr_pub%20%20pubmed). DOI: 10.1177/1559325819840852.
- [16] Romm H, Ainsbury E, Barnard S, et al. Automatic scoring of dicentric chromosomes as a tool in large scale radiation accidents[J]. *Mutat Res*, 2013, 756(1/2): 174—183. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2013.05.013.
- [17] Vaurijoux A, Gruel G, Pouzoulet F, et al. Strategy for population triage based on dicentric analysis[J]. *Radiat Res*, 2009, 171(5): 541—548. DOI: 10.1667/RR1664.1.
- [18] Gruel G, Grégoire E, Lecas S, et al. Biological dosimetry by automated dicentric scoring in a simulated emergency[J]. *Radiat Res*, 2013, 179(5): 557—569. DOI: 10.1667/RR3196.1.
- [19] Romm H, Ainsbury E, Barnard S, et al. Validation of semi-automatic scoring of dicentric chromosomes after simulation of three different irradiation scenarios[J]. *Health Phys*, 2014, 106(6): 764—771. DOI: 10.1097/HP.000000000000077.
- [20] 北京市卫生局. 北京市放射工作人员职业健康检查工作规范[Z]. 2013-08. Beijing Municipal Health Bureau. Work specification of occupational health inspection for Beijing radiation workers[Z]. 2013-08.
- [21] 白玉书, 陈德清. 人类辐射细胞遗传学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006. Bai YS, Chen DQ. Human radiation cytogenetics[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006.

(收稿日期: 2022-05-07)