

• Meta 分析 •

ATP 生物荧光测定法检测软式内镜清洗消毒效果的 meta 分析

赵灿 李隆松 韩珂 毕雅维 令狐恩强 柴宁莉

中国人民解放军总医院第一医学中心消化内科医学部, 北京 100853

通信作者: 柴宁莉, Email: chainingli@vip.163.com

【摘要】目的 系统评价 ATP 生物荧光测定法与传统微生物学监测法检测软式内镜清洗消毒效果的能力。**方法** 检索 PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、中国知网、万方数据库、维普数据库及中国生物医学文献数据库 8 个中英文数据库, 检索时间为自建库至 2023 年 10 月 1 日, 筛选 ATP 生物荧光测定法与传统微生物学监测法对软式内镜清洗消毒后质量评价效果的对比研究, 以两种方法检测出的阳性样本数量及阳性率为主要效应指标, 使用固定效应模型对所纳入的文献进行 meta 分析。**结果** 共纳入中英文文献 14 篇, 4 569 例样本, 涉及的器械包括胃镜、结肠镜、十二指肠镜及纤维支气管镜。研究间同质性较好 ($I^2=23\%$), 合并 $OR=1.57(95\%CI: 1.27\sim1.94)$, 2 种检测方法的阳性率差异存在统计学意义 ($P<0.001$)。漏斗图提示可能存在发表偏倚。**结论** ATP 生物荧光测定法与微生物学监测法所得到的监测结果具有相关性, ATP 生物荧光测定法在一定程度上可以反映内镜清洗消毒后的清洁程度, 虽检测速度较快、时效性较好, 但所测得样本阳性率明显高于微生物学监测法, 尚无法取代传统的微生物学监测法。

【关键词】 软式内镜; 清洗消毒; ATP 生物荧光测定; 微生物学监测; meta 分析

基金项目: 联勤保障部队“便携式-车载消化内镜诊疗一体化装备需求及应用研究”(LB2023B010100); 2022 年自然灾害防治技术装备工程化攻关专项“海上远程医学救援装备项目”(TC220H02F/2)

Evaluation of ATP bioluminescence technology for cleaning and disinfection of flexible endoscopes: a meta-analysis

Zhao Can, Li Longsong, Han Ke, Bi Yawei, Linghu Enqiang, Chai Ningli

Department of Gastroenterology, The First Medical Centre of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

ChinaCorresponding author: Chai Ningli, Email: chainingli@vip.163.com

【Abstract】 Objective To systematically evaluate the efficacy of ATP bioluminescence technology versus traditional microbiology detection method in assessing flexible endoscope cleaning and disinfection. **Methods** Eight Chinese and English databases, including PubMed, Embase, Web of Science, Cochrane Library, CNKI, Wanfang Database, VIP Chinese Medical Journal Database and China Biology Medicine disc, were searched from inception to October 1, 2023. Comparative studies on evaluating post-reprocessing endoscope quality using both methods were included. Positive sample numbers and positive rates were taken as the main effect indicators, and the fixed effect model was used to conduct a meta-analysis of the included literature. **Results** A total of 14 Chinese and English articles were included, involving 4 569 samples (gastrosopes, colonoscopes, duodenoscopes and fiberbronchoscopes). The pooled analysis demonstrated low heterogeneity across studies ($I^2=23\%$), with a combined odds ratio

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20240110-00018

收稿日期 2024-01-10 本文编辑 顾文晨

引用本文: 赵灿, 李隆松, 韩珂, 等. ATP 生物荧光测定法检测软式内镜清洗消毒效果的 meta 分析[J]. 中华消化内镜杂志, XXXX, XX(XX): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20240110-00018.



(OR) of 1.57 (95%CI: 1.27-1.94). It indicated a statistically significant difference in positive detection rates between the two methods ($P<0.001$). However, funnel plot analysis suggested potential publication bias.

Conclusion ATP bioluminescence correlates with microbiological methods for monitoring endoscope reprocessing. While ATP offers rapid assessment advantages, its consistently higher positive rates preclude replacement of conventional microbiological verification for terminal disinfection.

【Key words】 Flexible endoscope; Cleaning and disinfection; ATP bioluminescence technology; Microbiological detection; Meta analysis

Fund program: "Research on Requirements and Clinical Application of Integrated Portable-Vehicle-Mounted Gastrointestinal Endoscopy System" (LB2023B010100); 2022 Natural Disaster Prevention Technology and Equipment Engineering Research Project—Marine Telemedicine Rescue Equipment Project (TC220H02F/2)

目前,微生物学监测法是评估软式内镜清洗消毒效果的“金标准”,但这种方法的缺点是耗费时间,从取样到获得结果通常需要 48 h 以上。为不影响正常诊疗进度,国内外指南均建议对清洗消毒后的内镜进行抽检^[1-2],但这样难免存在漏检及院内感染的风险。对复用式器械尽可能做到全覆盖检测、杜绝院内感染是感控工作者努力的目标。ATP 生物荧光测定法最大优势是时效性强,十几秒即可获取检测结果,具有较好的现场监督意义。但国内外研究对该方法的有效性及适用范围仍存在争议^[3-6]。本研究对已发表的比较 ATP 生物荧光测定法和微生物学监测法评价软式内镜清洗消毒效果的对照研究进行了 meta 分析,以探索 ATP 生物荧光测定法在软式内镜清洗消毒效果评价中取代微生物学监测法的可行性。

资料与方法

一、文献纳入及排除标准

1. 纳入标准:(1)中文或英文文献;(2)研究类型为描述 ATP 荧光检测法与微生物学监测对软式内镜消毒效果评价的对照研究;(3)研究对象为临床使用的软式内镜;(4)研究需明确提及微生物学监测所参考的判定内镜清洗消毒合格的诊断标准;(5)文献明确提及 ATP 荧光检测法判定合格/不合格的截断值。

2. 排除标准:(1)重复发表的文献;(2)综述、会议摘要、信件及个案报道等文献;(3)研究中所涉及的样本为洗消前的样本;(4)体外内镜模型实验;(5)无法获取全文或统计数据不全,无法提取合格/不合格样本数量。

二、文献检索

系统检索 PubMed、Embase、Web of Science、

Cochrane Library、中国知网、万方数据库、维普数据库及中国生物医学文献数据库共 8 个中英文数据库。检索时间为自建库至 2023 年 10 月 1 日。中文检索式以万方数据库为例,检索式为:主题=“内镜”或主题=“内窥镜”或主题=“肠镜”,主题=“三磷酸腺苷”或主题=“ATP”。英文检索式以 Web of Science 数据库为例,检索式为:TS=(endoscope) or TS=(endoscopy) or TS=(esophagogastroduodenoscopy) or TS=(colonoscopy) or TS=(colonoscopy) or TS=(duodenoscopy) or TS=(duodenoscopy) or TS=(gastroscopy) or TS=(gastroscope), TS=(adenosine-triphosphate) or TS=(adenosine triphosphate) or TS=(ATP)。

三、文献筛选

由 2 位研究人员分别阅读所搜索文献的题目和摘要,根据制定的纳排标准对文献进行初步筛选,然后进一步阅读文献全文,选择出符合本次研究的文献。筛选过程中若出现意见分歧,则加入第 3 位研究人员共同讨论决定。

四、资料提取

从筛选的文献中提取第一作者、研究发表时间、研究进行的国家或地区、研究所纳入的样本量、ATP 生物荧光测定法及微生物监测法所检测出的阳性样本数量、ATP 荧光检测法所使用的仪器型号及判定合格/不合格的截断值等内容,同一文献中涉及多个截断值的情况,按约登指数=灵敏度+特异度-1 进行计算,提取约登指数最大值所对应的样本量及截断值纳入本研究。以上流程由 2 位研究人员分别完成,如有意见分歧则与第 3 位研究人员共同讨论决定。

五、文献质量评价

分别由 2 位研究人员独立使用采用 Cochrane 系统评价手册标准对纳入的文献进行质量评价,内

容主要包括选择偏倚、实施偏倚、测量偏倚、随访偏倚、报告偏倚和其他偏倚六个方面。如果评价结果有分歧,则与第3位研究人员共同商讨决定。整个文献质量评价过程采用 Revman 5.4.1 软件绘制相应图表。

六、统计学分析

收集以两种检测方法检测的内镜样本数量及洗消不合格的内镜样本数量,使用 RevMan 5.4.1 软件进行统计学分析,采用比值比(Odds Ratio, OR)作为效应指标。对提取的相关数据进行合并异质性检验,根据 I^2 值的大小判断异质性水平。如存在明显异质性,则采用随机效应模型;如同质性较好,则采用固定效应模型。通过绘制的森林图获得合并的 OR 值及其 95% 置信区间(95%CI)。绘制漏斗图分析发表偏倚。 $P < 0.05$ (双侧)为差异有统计学意义。

结 果

一、文献检索结果

通过 8 个中英文数据库进行系统检索,共获得 1 599 篇文献(中文 633 篇,英文 966 篇),去重后获得文献 1 162 篇,初步阅读题目、摘要及关键词后与本研究主题无关者 1 101 篇、综述类文献 12 篇、会议摘要 17 篇、体外实验 1 篇,然后仔细阅读剩余 31 篇文献全文,排除无法提取相关数据 14 篇、数据存疑 2 篇、ATP 荧光法检测与微生物学监测间隔时间较长 1 篇,最终共纳入 14 篇符合标准的文献^[7-20]进行定性分析,其中有 1 篇文献^[18]所涉及的研究因少量样本检测未显示结果而进行了数据排除,故最终共纳入 13 篇文献^[7-17, 19-20]进行 meta 分析。文献筛选流程见图 1。

二、文献基本情况

本研究所纳入的样本主要采集于胃镜、结肠镜、十二指肠镜及纤维支气管镜,共 4 569 例,微生物学监测法为对照组,ATP 生物荧光测定法为试验组,样本量最小的一项研究为 54 例,最多的一项研究为 1 026 例,共涉及 6 款 ATP 生物荧光监测仪,主要效应指标为两种方法所筛选出的阳性样本例数及阳性率,见表 1。

三、文献质量评价

纳入的 14 篇文献均为评价 ATP 生物荧光测定法与微生物学监测法对软式内镜消毒效果的对照

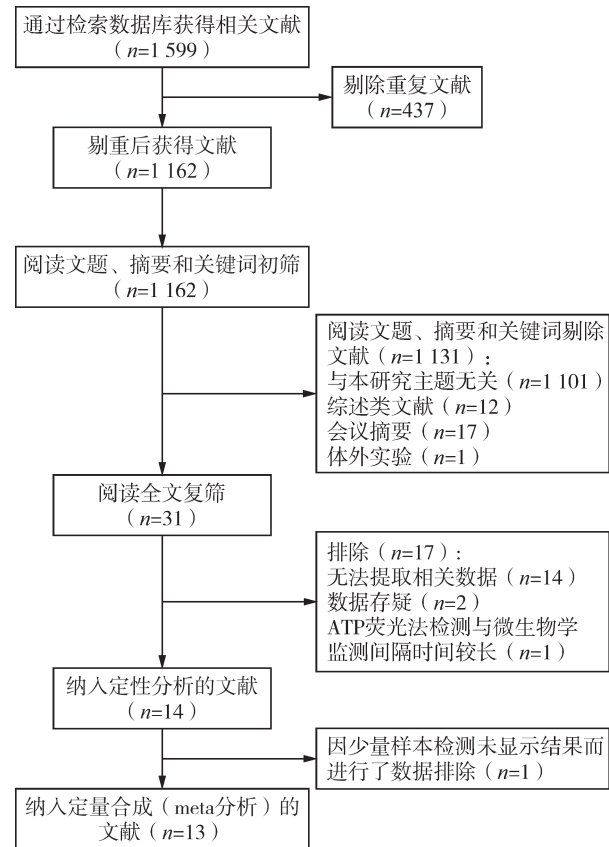


图1 文献筛选流程图

研究,其中只有 1 篇文献^[18]所涉及的研究因少量样本检测未显示结果而进行了数据排除,其余文献均不涉及选择性报告。所有研究均有明确洗消及效果监测指南以供参考,但因不同国家和地区遵循的指南不同,或相关研究所使用的 ATP 检测仪器型号不同,所参考的截断值并不完全一致。2 篇文献^[14-15]采用了随机分组的方案,均未提及是否采用了盲法及分配隐藏情况,其余 12 篇文献中两种检测方法检测的为同一份样本,研究结局并不受未实施盲法所影响,其选择偏倚、测量偏倚及实施偏倚均为低风险水平。文献质量评价结果见表 2。

四、meta 分析结果

根据各项研究所得到的清洗消毒评价不合格的内镜样本个数,研究间同质性较好($I^2=23\%$),选用固定效应模型进行 meta 分析。Meta 分析结果显示合并 $OR=1.57(95\%CI: 1.27\sim 1.94)$,差异存在统计学意义($P < 0.001$),见图 2。

五、发表偏倚

根据各研究结果绘制漏斗图,发现大部分都落在了漏斗图的左侧,且有一个点落在了外面,提示可能存在发表偏倚,见图 3。

表 1 纳入文献的基本情况

第一作者	发表年份	国家	ATP 仪器型号	ATP 截断值	样本量 (例)	检测分组(例)		结局指标(例)	
						C 组	E 组	C 组阳性	E 组阳性
夏瑾 ^[7]	2013	中国	System SURE II	50	120	60	60	17	21
魏静 ^[8]	2020	中国	System BT-112D	2 000	178	89	89	35	34
李娜 ^[9]	2022	中国	Hygiena ATP 手持机	40	178	56	56	4	7
王惠芳 ^[10]	2016	中国	System BT-112D	2 000	330	165	165	22	43
刘晓容 ^[11]	2020	中国	3MTM Clean-TraceTM	200	200	100	100	1	0
丁欢 ^[12]	2017	中国	3MTM Clean-TraceTM	200	180	90	90	1	2
陈乐 ^[13]	2021	中国	未提及	40	600	300	300	63	87
李艳 ^[14]	2018	中国	3MTM Clean-TraceTM	200	112	56	56	3	3
杨绍丽 ^[15]	2018	中国	3MTM Clean-TraceTM	200	1026	513	513	6	8
Dorothea ^[16]	2004	德国	Lumitester PD 10	80	216	108	108	28	31
Peter ^[17]	2005	英国	Uni-Lite	500	252	126	126	3	1
Elizabeth ^[18]	2017	澳大利亚	未提及	50	254	127	127	0	0
Cristiane ^[19]	2018	巴西	3MTM Clean-TraceTM	200	54	27	27	10	15
Arjan ^[20]	2022	荷兰	3MTM Clean-TraceTM	200	965	479	486	5	26

注:C组为微生物监测测试组;E组为ATP生物荧光法测试组

表 2 纳入文献的质量评价结果

第一作者	分组方法	分配隐藏	采样盲法	结局评估者实施盲法	随访偏倚	报告偏倚	其他偏倚
夏瑾 ^[7]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
魏静 ^[8]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
李娜 ^[9]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
王惠芳 ^[10]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
刘晓容 ^[11]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
丁欢 ^[12]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
陈乐 ^[13]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
李艳 ^[14]	随机分组	未提及	未提及	未提及	低风险	低风险	低风险
杨绍丽 ^[15]	随机分组	未提及	未提及	未提及	低风险	低风险	低风险
Dorothea ^[16]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
Peter ^[17]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
Elizabeth ^[18]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
Cristiane ^[19]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险	低风险
Arjan ^[20]	样品被两组全部采样	低风险	低风险	低风险	高风险	低风险	低风险

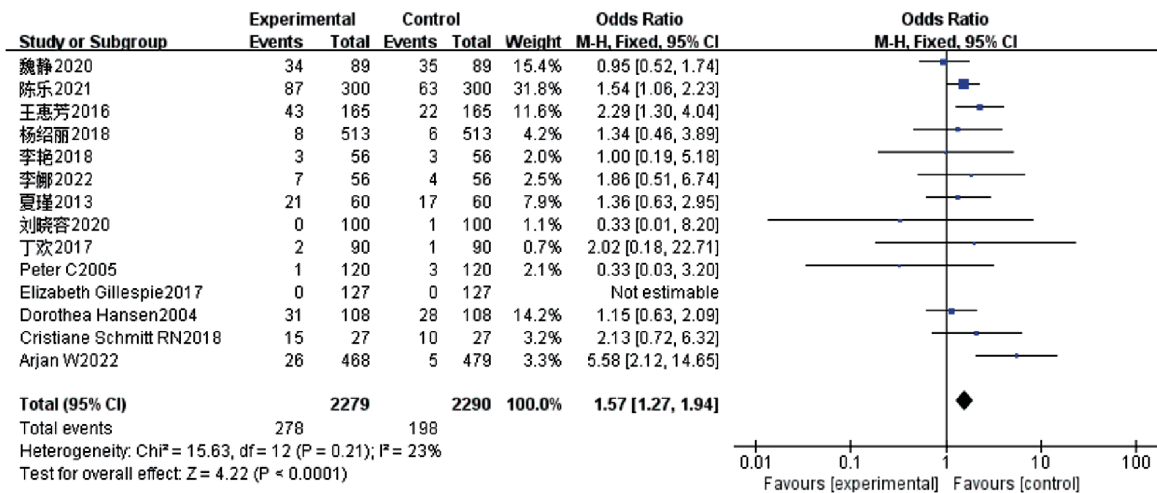
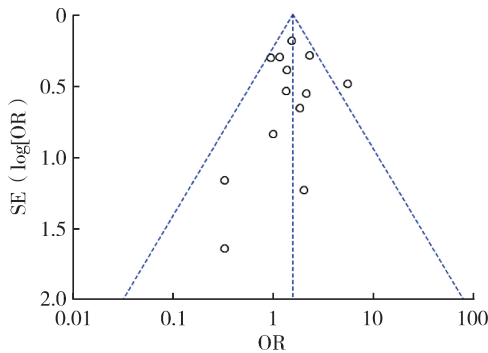


图 2 ATP 生物荧光测定法和微生物学监测法检测软式内镜清洗消毒效果的 meta 分析 (基于 RevMan 软件)

图3 发表偏倚漏斗图 ($n=13$)

讨论

内镜由于其微创治疗特点而越来越多地应用于临床实践中,诸如胃镜、结肠镜、十二指肠镜及纤维支气管镜等各式各样的内镜设备是这场医疗变革中的主力。由于大部分内镜为复用式器械,在诊疗过程中细菌、体液及组织细胞等有机成分会附着在器械表面,影响表面清洁程度,每次使用后都需要进行严密的消毒处理,如消毒不彻底则会引发严重的院内感染问题^[21]。所以,内镜消毒效果及时且准确的监测成为不容忽视的一环。

目前,微生物学监测被各国指南作为评估内镜再处理效果及合格与否的“金标准”,但该方法有明显缺点,其最大的局限性就是操作复杂且费时费力,一般采样后需 48 h 以上才能得出结果,无法保证在一定时间内对所有待使用的内镜设备进行监测^[22]。此外,微生物学监测只能代表采样时内镜的清洁程度,时效性受到极大挑战^[23]。

ATP 是存在于所有活细胞中的一种分子,在氧气、镁和荧光素的作用下转化成为可以用光度计检测到的一磷酸腺苷^[24]。该技术早先被应用于食品工业中的卫生监督^[7,19,25]。2004 年 Tietz 等^[26]发表了第一份用 ATP 生物荧光检测仪器进行内镜监测的报告,经过多年的发展,ATP 生物荧光技术在美国和欧洲等国家已被广泛用于评估洗消后的软式内镜的清洁程度,但在亚洲国家则较少采用^[27-28]。该技术相对于微生物学监测最大的优势就是大大地克服了采样和结果获取之间较长的时间间隔^[16,29],达到“即时检测”目的。

本研究是一项分析比较 ATP 生物荧光测定法和微生物学监测法检测软式内镜消毒效果的能力的 meta 分析。从纳入文献的研究结果来看,ATP 生物荧光测定法与微生物学监测法所得到的监测结果具有一定相关性,从一定程度上可以反映内镜清

洗消毒后的清洁程度,但 meta 分析的结果显示,ATP 生物荧光测定法所测得样本阳性率高于微生物学监测法,该差异有统计学意义,由此考虑 ATP 生物荧光测定法尚无法取代传统的微生物学监测法。

两种检测结果的差异并不令人意外,虽然 ATP 广泛存在于所有活细胞中,但同时也可以反映含有 ATP 的其他形式的生物碎片的存在,如血液或生物膜成分,这些是微生物培养无法检测到的^[30],这可能是造成其检测结果阳性率偏高的主要原因;其次,病毒本身结构中不含有 ATP,故 ATP 荧光检测对病毒感染的筛查存在盲区。此外,化学消毒剂对 ATP 测试的结果也存在一定干扰,能否在高水平消毒后进行 ATP 检测或者需要多长的时间间隔也是需要进一步研究的问题^[31];并且,因为不同制造商的 ATP 试剂盒的检出界限各不相同,所选择的截断值可能具有差异^[32-33],故该方法的应用也需要对检测的设备及标准进行统一。

本研究尚存在一定的局限性:(1)纳入的研究大部分为国内研究,欧美国家的医疗机构的 ATP 荧光检测法使用经验更加丰富,但只纳入了 5 篇文献,结果的适用性受到局限;(2)由于大部分文献中没有详细记录 2 种检测方法所检测的每份样本的具体结果,无法绘制四格表,无法通过诊断性 meta 分析方法获取 ATP 生物荧光测定法相对微生物学监测法的灵敏度和特异度;(3)本研究未对不同类型内镜、不同采样部位进行详细亚组分析,上述变量对最终检验结果是否具有影响尚需更全面的研究及更详细的文献进行分析验证;(4)由于研究文献的限制,本研究并未对不同检测方法的卫生经济学结果进行合并分析。

综上,虽然 ATP 生物荧光测定法无法取代微生物学监测法对内镜洗消效果进行评价,但其特有的优势仍具有较好的应用价值,我国现行的《软式内镜清洗消毒技术规范 WS 507-2016》^[2]就将该方法作为高水平消毒前进行清洗效果评价的参考方法,是否可以将 ATP 生物荧光测定作为微生物学监测前的一项筛查步骤,也是未来参考的一种思路,以进一步降低检测成本,提高软式内镜监测的覆盖率,可以作为软式内镜“快消快检”技术的重要研究方向。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 赵灿:文献搜集和汇总,文章撰写;李隆松:数据分析,结果审核;韩珂:数据分析;毕雅维、令狐恩强、柴宁莉:获取研究经费,文章终审

参 考 文 献

- [1] Beilenhoff U, Bieriing H, Blum R, et al. Reprocessing of flexible endoscopes and endoscopic accessories used in gastrointestinal endoscopy: Position Statement of the European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastroenterology Nurses and Associates (ESGENA)-Update 2018[J]. *Endoscopy*, 2018, 50(12): 1205-1234. DOI: 10.1055/a-0759-1629.
- [2] 刘运喜, 邢玉斌, 巩玉秀. 软式内镜清洗消毒技术规范 WS 507—2016[J]. *中国感染控制杂志*, 2017, 16(6):587-592.
- [3] 沈茹, 高爱东, 马哲红, 等. ATP生物荧光检测法在软式内镜清洗质量监测中的应用研究[J]. *中国卫生标准管理*, 2022, 13(13):182-185.
- [4] 马久红, 胡雪飞, 刘林林, 等. 胃镜及肠镜预清洗的监测与评价[J]. *中华医院感染学杂志*, 2012, 22(20):4566-4567.
- [5] Visrodia K, Hanada Y, Pennington KM, et al. Duodenoscope reprocessing surveillance with adenosine triphosphate testing and terminal cultures: a clinical pilot study[J]. *Gastrointest Endosc*, 2017, 86(1): 180-186. DOI: 10.1016/j.gie.2017.03.1544.
- [6] Olafsdottir LB, Wright SB, Smithey A, et al. Adenosine triphosphate quantification correlates poorly with microbial contamination of duodenoscopes[J]. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 2017, 38(6):678-684. DOI: 10.1017/ice.2017.58.
- [7] 夏瑾, 徐虹, 赵岚, 等. 不同检测方法对胃镜复用清洗质量监测的比较研究[J]. *中华医院感染学杂志*, 2013, 23(7): 1624-1626.
- [8] 魏静, 李曼, 杜欣蕾, 等. ATP检测方法在消化内镜清洗消毒效果中的应用研究[J]. *结直肠肛门外科*, 2020(S02):173.
- [9] 李娜, 蔡虹, 刘聚源, 等. ATP生物荧光法检测对提升消化内镜清洗消毒质量的研究[J]. *中文科技期刊数据库(引文版)医药卫生*, 2022(7):251-254.
- [10] 王惠芳, 来瑞平, 廖汉林, 等. ATP生物荧光法检测在提高消化内镜清洗质量中的应用[J]. *中国消毒学杂志*, 2015, 32(9):922-924.
- [11] 刘晓容. ATP生物荧光法在消化内镜清洗效果评价中的应用[J]. *医药界*, 2020(11):137.
- [12] 丁欢, 刘承军, 肖长. ATP生物荧光技术应用于软式内镜消毒质量检测的可行性研究[J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(5): 107-109.
- [13] 陈乐, 高胜春, 王海虹. ATP荧光检测法用于胃肠镜清洗消毒效果评价[J]. *中国乡村医药*, 2021, 28(18):43-44.
- [14] 李艳, 杨钰, 唐小青. ATP荧光检测法在胃肠镜清洗消毒效果评价中的应用[J]. *现代消化及介入诊疗*, 2018, 23(A02): 95-96.
- [15] 杨绍丽, 吴文莉, 王静, 等. ATP荧光检测技术对纤维支气管镜清洗消毒效果评价的研究[J]. *当代医学*, 2018, 24(19): 55-58.
- [16] Hansen D, Benner D, Hilgenhöner M, et al. ATP measurement as method to monitor the quality of reprocessing flexible endoscopes[J]. *Ger Med Sci*, 2004, 2:Doc04.
- [17] Obee PC, Griffith CJ, Cooper RA, et al. Real-time monitoring in managing the decontamination of flexible gastrointestinal endoscopes[J]. *Am J Infect Control*, 2005, 33(4): 202-206. DOI: 10.1016/j.ajic.2004.07.008.
- [18] Gillespie E, Sievert W, Swan M, et al. Adenosine triphosphate bioluminescence to validate decontamination of endoscopes[J]. *J Hosp Infect*, 2017, 97(4): 353-356. DOI: 10.1016/j.jhin.2017.05.020.
- [19] Schmitt C, Pires Maciel AL, Boszczowski I, et al. Evaluation of adenosine triphosphate test for cleaning assessment of gastroscopes and the effect on workload in a busy endoscopy center[J]. *Am J Infect Control*, 2018, 46(10):1110-1114. DOI: 10.1016/j.ajic.2018.04.215.
- [20] Rauwers AW, Voor In 't Holt AF, Buijs JG, et al. Assessment of postmanual cleaning adenosine triphosphate tests to prevent the use of contaminated duodenoscopes and linear echoendoscopes: the DETECT study[J]. *Gastrointest Endosc*, 2022, 96(2):282-290.e5. DOI: 10.1016/j.gie.2022.03.022.
- [21] 刘嘉, 战东, 窦志勇, 等. ATP生物荧光法在胃肠镜清洗监管的应用[J]. *中国卫生监督杂志*, 2021, 28(6):545-549.
- [22] Parohl N, Stiefenhöfer D, Heilitag S, et al. Monitoring of endoscope reprocessing with an adenosine triphosphate (ATP) bioluminescence method[J]. *GMS Hyg Infect Control*, 2017, 12:Doc04. DOI: 10.3205/dgkh000289.
- [23] Kwakman JA, Rauwers AW, Buijs JG, et al. No relation between adenosine triphosphate after manual cleaning and presence of microorganisms on endoscopes after automated high-level disinfection[J]. *Endosc Int Open*, 2022, 10(9): E1275-1281. DOI: 10.1055/a-1897-5000.
- [24] Batailler P, Saviuc P, Picot-Gueraud R, et al. Usefulness of adenosinetriphosphate bioluminescence assay (ATPmetry) for monitoring the reprocessing of endoscopes[J]. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 2015, 36(12): 1437-1443. DOI: 10.1017/ice.2015.212.
- [25] Worsfold D, Griffith CJ. An assessment of cleaning regimes and standards in butchers' shops[J]. *Int J Environ Health Res*, 2001, 11(3):245-256. DOI: 10.1080/09603120120070865.
- [26] Tietz A, Dangel M, Widmer AF. Assessment of a novel approach to evaluate the outcome of endoscope reprocessing [J]. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 2004, 25(11): 897-899; author reply 899. DOI: 10.1086/503491.
- [27] Ridditiid W, Pakvisal P, Chatsuan T, et al. Performance characteristics and optimal cut-off value of triple adenylate nucleotides test versus adenosine triphosphate test as point-of-care testing for predicting inadequacy of duodenoscope reprocessing[J]. *J Hosp Infect*, 2020, 106(2): 348-356. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.07.038.
- [28] Chan A, Chan H, Yan B, et al. Effectiveness of adenosine triphosphate to monitor manual cleaning and disinfection efficacy of flexible endoscopes in Hong Kong[J]. *JGH Open*, 2023, 7(2):141-147. DOI: 10.1002/jgh3.12863.
- [29] Guan A, Wang Y, Phillips KS. An extraction free modified o-phthalaldehyde assay for quantifying residual protein and microbial biofilms on surfaces[J]. *Biofouling*, 2018, 34(8): 925-934. DOI: 10.1080/08927014.2018.1521959.
- [30] Olafsdottir LB, Whelan J, Snyder GM. A systematic review of adenosine triphosphate as a surrogate for bacterial contamination of duodenoscopes used for endoscopic retrograde cholangiopancreatography[J]. *Am J Infect Control*, 2018, 46(6):697-705. DOI: 10.1016/j.ajic.2017.12.007.
- [31] 杨小燕, 田泽芳, 时桂娟, 等. 两种手术器械清洗质量评价方法的 Meta 分析[J]. *中华医院感染学杂志*, 2021, 31(22): 3496-3499.
- [32] Turner DE, Daugherty EK, Altier C, et al. Efficacy and limitations of an ATP-based monitoring system[J]. *J Am Assoc Lab Anim Sci*, 2010, 49(2):190-195.
- [33] Alfa MJ, Fatima I, Olson N. The adenosine triphosphate test is a rapid and reliable audit tool to assess manual cleaning adequacy of flexible endoscope channels[J]. *Am J Infect Control*, 2013, 41(3):249-253. DOI: 10.1016/j.ajic.2012.03.015.