



核酸检测

为何采用10合1混检?

近期,国内新冠肺炎疫情多点发生,出于疫情防控需要,宁波正开展全民核酸检测。很多学校已经或者正在对同学们进行核酸检测。不知道大家注意到没有,当前核酸检测主要采用10合1混检方式,即每个人1支拭子采集好后,10支拭子一起放入1个采集管内,再将标本送实验室检测。

那么,大家有没有想过,为什么要采用10合1混检方式,这个背后有什么讲究?事实上,这背后还真的有不少讲究,它既与新冠肺炎感染的比例有关,也与病毒检测的技术水平有关,还与数学运算有关。今天,我们就来说说核酸混检背后的那些事儿。

其中竟蕴含高中数学知识点!

发病率 p , 2%发病率 $p=0.02$ (或发病率 $p=0.02$)
 K 人一组混检,若有一个人阳性则每人检测
 需检测 $K+1$ 次,否则只检测1次
 检测次数 $X=1$ 或 $K+1$,其分布列 P

X	1	$K+1$
P	$1-p^k$	$1-(1-p)^k$

平均检测次数 $E(X) = 1 \cdot (1-p^k) + (K+1) \cdot (1-(1-p)^k)$

共 K 个人,每人平均检测次数为

$$\frac{E(X)}{K} = \frac{1}{K} (1-p^k) + (1+\frac{K}{K}) (1-(1-p)^k)$$

若不混检,则每人需检测1次

$$f(k) = \frac{E(X)}{K} - 1 = \frac{1-p^k}{K} + (1+\frac{K}{K}) (1-(1-p)^k) - 1$$

$$= \frac{1-p^k}{K} - (1-p)^k$$

若 $f(k) < 0$,则混检有利,否则单检更优,也可理解为混检更优

记 $f(k) = \frac{1-p^k}{K} - (1-p)^k$, 则 $f'(k) = -\frac{p^k}{k} - (1-p)^k \ln(1-p)$

当 $p=0.02$ 时,代入 $f'(k)$ 求导,可以用作图软件求导,求 $f'(k)$ 的最小值。

(这里需要数学软件计算)



混检时多少人一组最合适? 高中数学有这样的知识点

先来解释一下单检和混检。单检,顾名思义,就是一个人的采集拭子放到一个采集管中。混检,就是将若干个人的采集拭子放到一个采集管中(采集之前会对这些人做好信息登记)。检测结果为阴性时,混检样本均视为阴性,代表这些人都是安全的;如果出现阳性,相关部门会立即对该混检管的受试者暂时单独隔离,并重新采集单管拭子进行复核,再确定这当中到底哪一个或哪几个是阳性。

既然是全民核酸检测,哪怕只是某一个区域,涉及到的人员数量都会比较庞大,而医护人员数量毕竟有限,要想短时间内完成全民核酸检测,单检的效率过低,成本又过高,因此采用混检是提高效率、降低成本的有效方式。

那么,多少人一组进行混检更合适呢?为什么当前主要采取的是10人一组,而不是20人一组,甚至50人一组呢?如果撇开现实中的某些条件,就数学而言,这是一个统计和概率的问题。

效实中学数学竞赛老师周文天告诉记者,在新教材高二下的知识点中,有类似的题目:

某单位有10000名职工,想通过验血的方法筛查乙肝病毒携带者,假设携带病毒的人占5%,如果对每个人的血样逐一化验,就需要化验10000次。统计专家提出了一种化验

方法:随机地按5人一组分组,然后将各组5个人的血样混合再化验。如果混合血样呈阴性,说明这5个人全部阴性;如果混合血样呈阳性,说明其中至少有一人的血样呈阳性,就需要对每个人再分别化验一次。如果携带病毒的人只占2%,按照 K 个人一组, K 取多大时化验次数最少?

这道题与核酸混检的原理完全一样。但是该题在计算上较为复杂,运用高中知识,通过函数和数学软件,计算得出:当病毒携带人数占2%时,7-9人一组时,化验次数最少。

镇海中学数学教研组长周海军较为完整地写下了演算过程(如右图)。

周老师说,通过计算,理论上来说,发病率越低,每组检测人数可以越多,这样效率越高;反之,如果发病率高到一定程度,则混检并不具备优势。

由于目前国内中低风险地区发病率较低,理论上每组混检的人数可以更多一些,比如每组20人,甚至50人,这样效率更高。但实际情况来说,还需要考虑样本浓度问题,一组混检的人数越多,如果有一人感染,则可能出现因为浓度过低而检测不出病毒的状况。所以,目前国内全民核酸混检,以10人一组检测为主,这既与数学计算有关,也应该考虑到了样本浓度的因素。

从10合1到20合1 技术规范发布历时一年多

记者查阅资料发现,2020年8月,国家卫健委发布了《新冠病毒核酸10合1混采检测技术规范》,对样本采集耗材规格、采集地点要求、采集流程、标本送检、实验室接收、标本检测与质量控制、检验结果处理等10个方面做出了具体规范。

到了今年1月,国务院联防联控机制医疗救治组开展临床真实样本验证,在确保核酸检测质量的基础上,决

定稳步实施20合1混采检测技术,并组织制定了《新冠病毒核酸20合1混采检测技术规范》。20合1混采检测技术,即把采集自20人的20支拭子集于1个采集管中进行核酸检测的方法,可大幅度提高检测效率,更加适用于低风险地区大规模人群核酸筛查工作。

这说明,经过一年多的临床和实验室实践,我们核酸检测的技术又有了提升。

统计和概率太复杂 也可以简单一点来解释

不过,统计和概率的数学知识,对于大多数人来说,解释起来有点费劲。当然,我们也可以更加简单一点来解释。2021年课堂内外杯暑期征文大赛特等奖的文章,题目叫《混检,真是了不起》,这篇文章里,江苏省仪征市实验小学五(6)班的刘境硕小朋友,就从小学生的视角对混检进行了自己的解释。

“每次检测10个人就会变快,这是为什么?”

“比方说,27人中有1人感染了新冠病毒,如果按照单检一个一个地检测,一共需要检测27次才能知道感染者是谁;如果采用混检的方式,检测次数就会减少很多。”

“那需要检测多少次呢?”

“把27人平均分成3组,每组有9个人,以组为单位,只需要检测3次,

我们就能确定哪一组里面有感染者。这样的话,可疑人数就从27人直接减少为9人了。接着,我们再采用单检的方式来确定感染者,总共只需要检测3+9=12次。是不是比原来检测27次更快、效率更高呢?”

但是,同学们可以继续提问。比如,第二轮的9个,是不是可以继续采用分组的方式呢?实际上,继续分3组,每组3人,第三轮再单检,检测次数只需要3+3+3=9次,数量更少。然而,现实中,当发现感染者时,需要第一时间进行确认,第二轮单检比继续分组,时间上来得更快,这个时候,第二轮直接单检更符合防疫的现实需要。

所以,数学知识和现实生活有着密切的联系。当然,实际运用中,还需要考虑各种现实因素。

记者 王伟 文/摄



镇海校园里的核酸检测。