

体卫融合视域下自身免疫力对大型传染病的传播影响研究

张玉华^{1a}, 李海银^{1b}, 毕远宏², 刘现辉³

(1.河南财经政法大学 a.体育学院;b.数学与信息科学学院,郑州 450046;2.内蒙古财经大学 统计与数学学院,呼和浩特 010051;3.河南省中医院 血液科,郑州 450008)

摘要:为了研究自身免疫力对大型传染病传播的影响,建立了易感者、密接者、感染者和恢复者4种人群的传染病模型,给出基本再生数并讨论了无病平衡点和地方病平衡点的稳定性.当自身免疫力小于 $\min\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$ 时传染病会蔓延开来,但当自身免疫力大于 μ^* 时传染病会逐渐消失,加速推进体卫融合,提高机体自身免疫力的重要性就凸显出来,为我国体卫融合健康发展提供参考.

关键词:体卫融合;自身免疫力;传染病;稳定性

中图分类号:O175.13

文献标志码:A

随着人们生活水平的提高,对健康也提出了更高的追求.2021年国家颁布了《国民经济和社会发展的第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》和《全民健身计划(2021—2025年)》等文件,将提高国民体质、深化体卫融合作为建设健康中国的国家战略.如何提高人们对疾病的防御能力,将健康关口前移成为学者们讨论的话题.自身免疫力,不同于新生儿从母体获得的免疫力,也不同于预防接种而形成的免疫力,是人体自身的防御机制,是人体识别和消灭外来异物(病毒、细菌等),处理衰老、损伤、死亡、变性的自身细胞的能力.自新冠疫情出现以来,关于人体免疫力的问题再次被频频提及.对于感染了COVID-19的患者来说,在抵抗疾病的过程中自身免疫力起到了非常重要的作用.此外,在疑似感染人群或密切接触者中,免疫力较强的人相对来说更加不容易被感染或感染后恢复得更快.无论是面对COVID-19也好,还是较为常见的流感也罢,避免自身出现基础疾病以及增强机体免疫力显得尤为重要.从卫生学的角度来看,不管是病毒对肺脏攻击,还是对心脏、中枢神经系统、肾脏等的攻击,它几乎无一例外地攻破了一道叫“免疫”的防线.人类感染病原体后是否产生传染病的症状以及症状的严重程度,是由病原体的数量和毒力以及人体的免疫力共同作用的结果.全球进入后疫情时代,关于人体免疫力的问题越来越被重视,“自身免疫力”成为高频词,自身免疫力成为人体防御疾病的防火墙.

为了战胜传染病,防止疫情扩散,各个领域的研究者从不同角度研究:性别比例^[1]、媒体报道^[2]、超级传播者、细胞因子^[3]、戴口罩和保持社交距离^[4]、身体健康状况^[5]、疫苗接种^[6]、年龄结构^[7]、能源物质的供应^[8]、怀孕^[9]等因素对传染病传播的影响.突发传染病经过一段时间后,人类会积累一定的防御经验,测试是否感染会使用鼻咽和口咽拭子、CT扫描、血清检测、支气管肺泡灌洗等不同的检查方法,还会把密切接触感染者的人员进行隔离,对密接者进行检测.所以把密接者单独作为一类人员进行研究是有实际意义的.同时,通过查阅文献发现研究自身免疫力对传染疾病影响的文献并不多,已有研究关注的是疫苗接种免疫对流感

收稿日期:2023-03-02;修回日期:2023-03-28.

基金项目:国家自然科学基金(12062017);河南省科技攻关项目(222102320192;232102320306);河南省哲学社会科学规划项目(2022BTY001);河南省高等学校重点科研项目(23A110005).

作者简介(通信作者):张玉华(1977—),男,河南民权人,河南财经政法大学副教授,研究方向为体育教育、休闲体育, E-mail:yuhuaizhang4109@163.com.

传播的影响^[10],本文在体卫融合视域下运用常微分方程模型讨论提高自身免疫力对传染疾病防控的影响,从而得到加强体育运动,提高自身免疫力对传染病防控的影响,为体卫融合健康发展提供理论参考.

1 大型传染病模型的构建与基本再生数

1.1 模型的构建

把人群分为易感者、密接者、感染者和恢复者 4 种类型.由大型传染病的传播机理分析可得下面模型:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = \Lambda + aC(t) + bS(t)I(t) + \mu S(t) - DS(t), \\ \frac{dC(t)}{dt} = bS(t)I(t) - aC(t) - \beta C(t) + \mu C(t) - DC(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta C(t) - \gamma I(t) - \mu I(t) - \mu C(t) - DI(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) + \mu I(t) - DR(t). \end{cases} \quad (1)$$

在模型(1)中, $S(t)$ 表示易感者, $C(t)$ 表示密接者, $I(t)$ 表示感染者, $R(t)$ 表示恢复者.参数 Λ 为易感者人口输入率, a 为通过检测和隔离后密接者向易感者的转化率, b 为感染系数, β 为密接者向感染者的转化率, γ 为移出率或恢复率.参数 μ, D 分别为自身免疫力系数和自然死亡率. $\Lambda, a, b, \beta, \gamma, \mu, D$ 都是正常数.

注 1 在模型(1)中, $\frac{dS(t)}{dt}, \frac{dC(t)}{dt}, \frac{dI(t)}{dt}, \frac{dR(t)}{dt}$ 分别表示 $S(t), C(t), I(t), R(t)$ 随着时间 t 变化的变化率.

模型(1)的流程图见图 1.

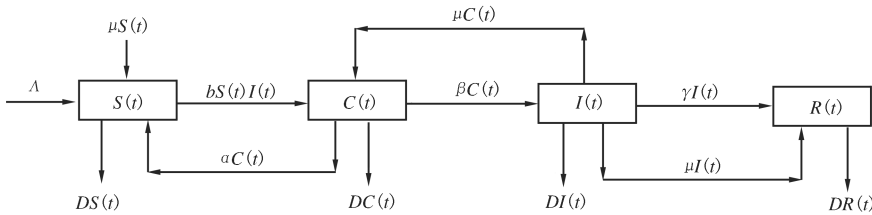


图1 模型(1)的常微分方程转化流程图

Fig.1 The transition diagram of the ODE model(1)

既然 $R(t)$ 不影响 $S(t), C(t)$ 和 $I(t)$, 且由模型(1)的第 4 个方程知 $R(t)$ 只受 $I(t)$ 的影响, 所以模型(1)的等价系统为

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = \Lambda + aC(t) - bS(t)I(t) + \mu S(t) - DS(t), \\ \frac{dC(t)}{dt} = bS(t)I(t) - aC(t) - \beta C(t) + \mu C(t) - DC(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta C(t) - \gamma I(t) - \mu I(t) - \mu C(t) - DI(t). \end{cases} \quad (2)$$

1.2 平衡点与基本再生数

经计算,当 $D > \mu$ 时,模型(2) 有无病平衡点 $E_0(S_0, 0, 0), S_0 = \frac{\Lambda}{D - \mu}$, 总假定 $D > \mu$.

基本再生数 R_0 是干预措施(如增加人际距离、接种疫苗等)或自然感染后的状态下,1 名感染者平均传染的人数,即疾病在实际传播过程中评估 1 例病例可以传染的人数.应用意义:当 $R_0 > 1$,则传染病会迅速传播开,形成流行,若不加以防控,将会呈指数增长;当 $R_0 = 1$,传染病是地方性的、可控的,与人群长期存在;只有 $R_0 < 1$ 时,传染病才会因为无法传播开而逐渐消失^[11-12].

对系统(2)来说,下面运用下一代矩阵方法^[13]计算基本再生数.考虑 2 个已感染仓室 $C(t)$ 和 $I(t)$,记

$\frac{d}{dt}[C, I] = h - \ell$, 则这里

$$h = \begin{pmatrix} bSI \\ 0 \end{pmatrix}, \ell = \begin{pmatrix} (a + \beta + D - \mu)C \\ -(\beta - \mu)C + (\gamma + \mu + D)I \end{pmatrix}.$$

记 h 和 ℓ 在 E_0 处的 Jacobian 矩阵分别为 F 和 V ,其中

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \frac{b\Lambda}{D - \mu} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} a + \beta + D - \mu & 0 \\ -(\beta - \mu) & \gamma + \mu + D \end{pmatrix},$$

则 $V^{-1} = \frac{1}{(a + \beta + D - \mu)(\gamma + \mu + D)} \begin{pmatrix} \gamma + \mu + D & 0 \\ \beta - \mu & a + \beta + D - \mu \end{pmatrix}$. 由基本再生数的定义可知, $R_0 =$

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{b\Lambda(\beta - \mu)}{(a + \beta + D - \mu)(\gamma + \mu + D)(D - \mu)}.$$

定理 1 如果基本再生数 $R_0 > 1$, 则模型(2)存在唯一的 地方病平衡点 $E^*(S^*, C^*, I^*)$ 中的每一个值都是正的.

证明 模型(2)的平衡点满足下面代数方程

$$\begin{cases} \Lambda + aC^* - bS^*I^* + (\mu - D)S^* = 0, \\ bS^*I^* - (a - \beta + D - \mu)C^* = 0, \\ (\beta - \mu)C^* - (\gamma + \mu + D)I^* = 0. \end{cases} \quad (3)$$

经计算可知,当条件

$$b\Lambda(\beta - \mu) > (\gamma + \mu + D)(a + D + \beta - \mu)(D - \mu) \quad (H_1)$$

满足,即 $R_0 > 1$ 时,模型(2)地方病平衡点 $E^*(S^*, C^*, I^*)$,且

$$\begin{aligned} S^* &= \frac{(\gamma + \mu + D)(a + D + \beta - \mu)}{b(\beta - \mu)} > 0, \\ C^* &= \frac{b\Lambda(\beta - \mu) - (\gamma + \mu + D)(a + D + \beta - \mu)(D - \mu)}{b(\beta - \mu)(\beta - \mu + D)} > 0, \\ I^* &= \frac{b\Lambda(\beta - \mu) - (\gamma + \mu + D)(a + D + \beta - \mu)(D - \mu)}{b(\beta - \mu + D)(\gamma + \mu + D)} > 0. \end{aligned}$$

2 稳定性分析

在本节中,用特征方程理论来证明无病平衡点 $E_0(S_0, 0, 0)$ 的和地方病平衡点 $E^*(S^*, C^*, I^*)$ 的局部稳定性.

2.1 平衡点的稳定性

下面讨论平衡点 E_0 的稳定性. E_0 的雅可比矩阵为

$$J_{E_0} = \begin{pmatrix} \mu - D & a & \frac{-b\Lambda}{D - \mu} \\ 0 & \mu - D - a - \beta & \frac{b\Lambda}{D - \mu} \\ 0 & -\mu + \beta & -(\gamma + \mu + D) \end{pmatrix},$$

对应的特征方程为

$$[\lambda - (\mu - D)]\{\lambda - (\mu - D - a - \beta)\}[\lambda + (\gamma + \mu + D)] + \frac{b\Lambda(\mu - \beta)}{D - \mu} = 0. \quad (4)$$

可得特征根 $\lambda_1 = \mu - D < 0$, 另外两个特征根满足

$$\lambda^2 + b_1\lambda + b_2 = 0, \quad (5)$$

其中 $b_1 = \beta + \gamma + a + 2D$, $b_2 = (a + D + \beta - \mu)(\gamma + \mu + D) + \frac{b\Lambda(\mu - \beta)}{D - \mu}$.

由于 $b_1 > 0$, 所以方程(5)的两个根都具有严格负实部的充要条件是

$$b_2 > 0. \quad (6)$$

当条件

$$b\Lambda(\beta - \mu) < (\gamma + \mu + D)(a + D + \beta - \mu)(D - \mu) \quad (H_2)$$

成立时, 即 $R_0 < 1, b_2 > 0$. 由以上分析可得下面定理.

定理 2 当 $R_0 < 1$ 时, 无病平衡点 $E_0(S_0, 0, 0)$ 是渐近稳定的, 此时正平衡点 $E^*(S^*, C^*, I^*)$ 是不存在的.

2.2 平衡点的稳定性

地方病平衡点 $E^*(S^*, C^*, I^*)$ 对应的雅可比矩阵为

$$J_{E^*} = \begin{pmatrix} \mu - D - bI^* & a & -bS^* \\ bI^* & \mu - D - a - \beta & bS^* \\ 0 & -\mu + \beta & -(\gamma + \mu + D) \end{pmatrix}.$$

由 $|J_{E^*}| = 0$, 得

$$\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0, \quad (7)$$

其中

$$a_1 = \beta + \gamma + 3D + a + bI^* - \mu,$$

$$a_2 = \beta(\gamma + 2D + bI^* - bS^*) + (\gamma + \mu + D)(a + bI^* + 2D - 2\mu) + (D - \mu)(a + bI^* + D - \mu) + \mu bS^*,$$

$$a_3 = \beta[bI^*(\gamma + \mu + D) + (d - \mu)(\gamma + \mu + D - bS^*)] + (\gamma + \mu + D)(D - \mu)(a + bI^* + D - \mu) + bS^*\mu(D - \mu).$$

则 $\Delta_1 = a_1, \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_3, \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 0 & a_3 \end{vmatrix} = a_3 \Delta_2$. 由 Routh-Hurwitz 准则^[14], 当

$$\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_3 > 0 \quad (8)$$

成立时, 特征方程(7)的所有根有负实部.

根据以上分析, 有下面结论.

定理 3 当条件(8)成立时, 方程(7)的所有根都有负实部, 即地方病平衡点 E^* 渐近稳定.

3 讨论与建议

当病毒攻克人体免疫系统时会在人群中迅速暴发造成疫情, 扑灭这种疫情有 3 种方式: 消灭传染源(病毒)、切断传播途径和保护好受体. 在大型传染病尤其是新发传染病中消灭传染源必须有针对性的药物, 这需要大量科研人员进行研发和实验, 周期较长, 成本较高. 切断传播途径需要广大人民群众的配合, 造成的损失更大. 这次刚刚过去的 COVID-19 疫情的静态管理采用的就是切断传播途径, 3 年疫情对人类造成很大的伤害. 常用就是保护好受体, 分为两种, 一种是外界保护, 就是将受体隔离出来, 这种保护的实质就是切断传播途径; 另一种就是自身防护, 是依靠自身免疫系统进行的保护, 这种保护方式成本低, 非常便捷, 也是国内外学者研究和讨论的对象.

3.1 演变为地方病

很多人认为感染上病毒后, 病毒是被药物杀死的. 然而真正杀死病毒的, 是人类自己的免疫系统, 药物只是缓解这个过程痛苦, 让人类不用在这场免疫 VS 病毒的过程中承受过多的痛苦. 病毒没有进入人体, 就是一个蛋白质包裹着遗传物质的物品, 轻易就能解决. 可是一旦进入人体, 任何物质拿它都没有用, 只能依靠人类最后一道防线——免疫系统. 研究证明, 大型传染病发生后, 居家隔离成为常规选择, 这使生活节奏发生

很大变化,会造成行为习惯的改变,表现为失眠、无精打采、注意力不能集中,有的人甚至怀疑自己生病,容易诱发恐惧、焦虑、抑郁、强迫、创伤后应激障碍等心理问题,进而造成机体对病毒的免疫力有所下降^[15].在上文中得到定理 3:当条件(8)成立时,随着时间 t 的不断增大, $(S(t), C(t), I(t))$ 最终趋向于 (S^*, C^*, I^*) ,即大型传染病无法消除,会演变成地方病.

为了便于理解,把条件(8)等价转化为和自身免疫力 μ 相关的条件.由条件(8)中的 $\Delta_1 > 0$ 得:

$$\mu < \beta + \gamma + 2D + a + bI^* + D \triangleq \mu_1. \tag{9}$$

由 $\Delta_2 > 0$ 得: $(1 - 2D - 2\gamma - \beta)\mu^2 - M_1\mu + M_2 > 0$, 其中

$$M_1 = 2D(a + D + \beta) + bI^*(1 + \beta + 2D) + \gamma(\beta - 1) + bS^*(1 - a - bI^* - \gamma - 2D - 2\beta),$$

$$M_2 = (a + bI^* + D)[(\gamma + D)(\gamma + 4D + a + bI^* + \beta) + 2D(\beta + D) + \beta(bI^* - bS^*)] + d(a + bI^*) + \beta(\beta + \gamma + 2D)(\gamma + 2D + bI^* - bS^*) + \beta(\gamma + D)(a + D) + d(\gamma + 2D)(\gamma + D) + Db\beta S^*.$$

参数 μ 是在数值上是很小的, μ^2 会更小,可以忽略 μ^2 这一项, 则得:

$$\mu < \frac{M_2}{M_1} \triangleq \mu_2. \tag{10}$$

由 $\Delta_3 > 0$ 得:

$$\mu^3 - \mu^2(1 + a + D + bI^* + bS^* - \gamma) - \mu[\gamma(1 + a + bI^*) + D(D + 2\gamma) - b(DS^* + S^* + I^*)] + \beta bI^*(\gamma + D) + \beta D(\gamma + D - bS^*) + D(\gamma + D)(a + D + bI^*) > 0,$$

同样可以忽略 μ^3, μ^2 这两项,得:

$$\mu < \frac{\beta bI^*(\gamma + D) + \beta D(\gamma + D - bS^*) + D(\gamma + D)(a + D + bI^*)}{\gamma(1 + a + bI^*) + D(D + 2\gamma) - b(DS^* + S^* + I^*)} \triangleq \mu_3. \tag{11}$$

由以上分析和定理 3 得,当自身免疫力 $0 < \mu < \min\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$ 时,新发传染病会成为地方病.

因此,随着时间 t 的不断延长, $C(t)$ 和 $I(t)$ 会趋近于 C^* 和 I^* 这个固定值,人体的免疫力和病毒的攻击力达到一种平衡时,大型传染病会和人类共存,成为地方病.当机体免疫力变弱时,病毒会趁虚而入,侵入人体.

3.2 逐渐消失

大量的生理学研究证明,适当的体育锻炼能够提高白细胞(WBC)、粒细胞、淋巴细胞等的吞噬、黏滞度、细胞数目和灭菌活性等功能,进而调动机体来提高免疫力^[16].合理的运动有利于机体免疫力增强^[17-18].经常锻炼可以增强对病原体入侵的抵抗力^[19].定期进行中等强度的锻炼可以有效、积极地影响由多种病态情况引起的生理失衡.即使在不同的免疫功能障碍中,体育锻炼也被规定为一种补充治疗策略^[20].

从定理 2 中可以得到:当基本再生数 $R_0 < 1$ 时,随着时间 t 的不断增大, $(S(t), C(t), I(t))$ 最终趋向于 $(S_0, 0, 0)$,也就是密接人群和感染人群趋向于零,即大型传染病会逐渐消除.

同样,接下来把条件 $R_0 < 1$ 等价转化为和自身免疫力 μ 相关的条件.对条件 $R_0 < 1$ 整理后可得:

$$\mu^3 - (a + D + \beta - \gamma)\mu^2 + [b\Delta - (a + \beta)(D + 2\gamma) - D(2D + 3\gamma)]\mu > b\Delta\beta - D(a + D + \beta)(\gamma + D),$$

忽略 μ^3 和 μ^2 这两项后可得:

$$\mu < \frac{b\Delta\beta - D(a + D + \beta)(\gamma + D)}{b\Delta - (a + \beta)(D + 2\gamma) - D(2D + 3\gamma)} \triangleq \mu^*. \tag{12}$$

也就是说,当自身免疫力 $\mu > \mu^*$ 时,免疫力增大,机体受到保护,病毒没有受体,随着时间的延长,大型传染病会因为无法传播开而逐渐消失.

3.3 提高免疫力

运动不仅可以促进人体的身体健康,还对心理健康有着积极的作用.研究表明,体育不仅可以促进 β 内啡肽的释放^[21],还可以促进大脑分泌 BDNF,这种神经营养因子有助于产生愉快、满足等心理状态,进而提高积极情绪和机体免疫力^[22].科学的体育锻炼有助于维持生物节律.由于动作简单、不断反复,容易将人们对疫情的注意中转移到体育运动中,更容易保持心态稳定.从而防止由于生物节律紊乱而发生的免疫功能紊乱^[23].坚持体育锻炼可以拮抗心理应激,调整和改善心理状态,就生理学研究角度而言具有提高免疫力的作

用,起到安慰剂的效能,同时,还可以通过转移注意力、改善情绪、稳定生物节律来保持机体免疫系统正常运行.因此,在大型传染病疫情中体育锻炼不仅起到维持免疫系统稳定的拮抗作用,还能够提高机体免疫力^[24].

大型传染病期间的人际隔离在有效斩断病毒传播途径的同时也兼具信任危机风险.人的社会本能希望进行人际交流,但是因惧怕被感染的风险对周围的人群产生怀疑和排斥,致使人与人之间产生猜忌和不信任.适当的体育锻炼既可以缓解这方面的心理压力,并且采用合适的体育项目可以加强人与人的交流和沟通^[25],如:羽毛球、网球、毽球、跑步等人与人保持有一定距离的运动项目或个人运动项目.大型传染病期间的人际隔离确保了公共安全的同时,也限制了现实生活中的人际交往,进而加大了因对病毒的恐惧与信息交流不畅而产生猜忌、不信任的风险;运动干预可直接提升自我控制,改善其人际关系,也可通过提升自我控制间接地改善人际关系^[26].

综上所述,当人体面对各种传染病时,自身免疫系统是最好的防火墙,给予机体最强的保护.因此人们在科学饮食、保证睡眠之外一定要保持良好的运动习惯,使用科学的运动处方,提高自身免疫力.

4 结 语

本文利用常微分方程稳定性理论,研究了无病平衡点和地方病平衡点的稳定性,且把稳定性条件转化为自身免疫力需要满足的条件,得到当自身免疫力 $0 < \mu < \min\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$ [其中 μ_1, μ_2, μ_3 分别见式(9)、(10)、(11)] 时,大型传染病会成为地方病;当自身免疫力 $\mu > \mu^*$ [μ^* 见式(12)] 时,大型传染病会回到逐渐消失的阶段,从理论上分析验证了自身免疫力对传染病传播的影响.

参 考 文 献

- [1] HALIMUBIEKE N, PIRRIE A, SZÉKELY T, et al. How do biases in sex ratio and disease characteristics affect the spread of sexually transmitted infections? [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2021, 527: 110832.
- [2] ZHOU W K, WANG A L, XIA F, et al. Effects of media reporting on mitigating spread of COVID-19 in the early phase of the outbreak [J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2020, 17(3): 2693-2707.
- [3] HU B Y, HUANG S Y, YIN L H. The cytokine storm and COVID-19 [J]. *Journal of Medical Virology*, 2021, 93(1): 250-256.
- [4] SALDAÑA F, FLORES-ARGUEDAS H, CAMACHO-GUTIÉRREZ J A, et al. Modeling the transmission dynamics and the impact of the control interventions for the COVID-19 epidemic outbreak [J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2020, 17(4): 4165-4183.
- [5] CHATTERJEE K, CHATTERJEE K, KUMAR A, et al. Healthcare impact of COVID-19 epidemic in India: a stochastic mathematical model [J]. *Medical Journal Armed Forces India*, 2020, 76(2): 147-155.
- [6] MILLS M C, SALISBURY D. The challenges of distributing COVID-19 vaccinations [J]. *EclinicalMedicine*, 2021, 31: 100674.
- [7] BARBER S J, KIM H. COVID-19 worries and behavior changes in older and younger men and women [J]. *The Journals of Gerontology: Series B*, 2021, 76(2): e17-e23.
- [8] JIANG P, FAN Y V, KLEMESŠ J J. Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: challenges, lessons and emerging opportunities [J]. *Applied Energy*, 2021, 285: 116441.
- [9] WASTNEDGE E A N, REYNOLDS R M, VAN BOECKEL S R, et al. Pregnancy and COVID-19 [J]. *Physiological Reviews*, 2021, 101(1): 303-318.
- [10] 王晓静, 王雪萍, 白玉珍, 等. 具有免疫时滞和综合干预措施的流感模型研究 [J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(1): 108-114.
WANG X J, WANG X P, BAI Y Z, et al. An influenza transmission model with immune delay and comprehensive interventions [J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2021, 49(1): 108-114.
- [11] 李倩, 肖燕妮, 吴建宏, 等. COVID-19 疫情时滞模型构建与确诊病例驱动的追踪隔离措施分析 [J]. *应用数学期刊*, 2020, 43(2): 238-250.
LI Q, XIAO Y N, WU J H, et al. Modelling COVID-19 epidemic with time delay and analyzing the strategy of confirmed cases-driven contact tracing followed by quarantine [J]. *Acta Mathematicae Applicatae Sinica*, 2020, 43(2): 238-250.
- [12] CHEN T M, RUI J, WANG Q P, et al. A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus [J]. *Infectious Diseases of Poverty*, 2020, 9(1): 24.
- [13] HASSARD B D, KAZARINOFF N D, WAN Y H. *Theory and applications of Hopf bifurcation* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- [14] 马知恩, 周义仓, 李承治. *常微分方程定性理论与稳定性方法* [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2015.
- [15] 张婕, 苏宁. 冠状病毒所致严重急性呼吸道传染病相关心理应激研究进展 [J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2020, 46(5): 311-313.
ZHANG J, SUN N. Research progress on psychological stress related to severe acute respiratory infectious diseases caused by coronavirus

- [J].Chinese Journal of Nervous and Mental Diseases,2020,46(5):311-313.
- [16] 陈佩杰.运动免疫学研究进展[J].体育科学,2000,20(6):41-46.
CHEN P J.Overview of contemporary exercise immunology[J].Sport Science,2000,20(6):41-46.
- [17] 付乙.运动与免疫[J].成都体育学院学报,1997,23(2):63-65.
FU Y.Sports and immunity[J].Journal of Chengdu Physical Education Institute,1997,23(2):63-65.
- [18] 张葆欣,燕小妮.针刺对男子中长跑项目运动员冬训期间免疫力影响的研究[J].北京体育大学学报,2008,31(4):496-497.
ZHANG B X,YAN X N.Acupuncture to Shanxi Province man medium distance running athlete winter training period immunity influence observation[J].Journal of Beijing Sport University,2008,31(4):496-497.
- [19] ZHENG Q S,CUI G Y,CHEN J N,et al.Regular exercise enhances the immune response against microbial antigens through up-regulation of toll-like receptor signaling pathways[J].Cellular Physiology and Biochemistry: International Journal of Experimental Cellular Physiology,Biochemistry,and Pharmacology,2015,37(2):735-746.
- [20] CODELLA R,LUZI L,INVERARDI L,et al.The anti-inflammatory effects of exercise in the syndromic thread of diabetes and autoimmunity[J].European Review for Medical and Pharmacological Sciences,2015,19(19):3709-3722.
- [21] 颜军,陈爱国.中等负荷运动训练对心理应激大鼠淋巴细胞凋亡的影响及其机制的研究[J].体育科学,2005,25(11):51-54.
YAN J,CHEN A G.Effect and mechanism of moderate exercise on peripheral blood lymphocytes apoptosis and bcl-2, bax gene expression of mental stress rats[J].China Sport Science,2005,25(11):51-54.
- [22] MATA J,THOMPSON R J,GOTLIB I H.BDNF genotype moderates the relation between physical activity and depressive symptoms[J].Health Psychology,2010,29(2):130-133.
- [23] 董毅.生物节律与运动[J].中国体育科技,2019,55(4):22-30.
DONG Y.Biorhythm and exercise[J].China Sport Science and Technology,2019,55(4):22-30.
- [24] 娄虎,颜军.重大传染病疫情中体育锻炼对应激心理神经免疫的路径与对策[J].中国体育科技,2020,56(5):35-40.
LOU H,YAN J.Psychoneuroimmunity pathway and suggestion of physical exercise to cope with stress in the epidemic situation of serious infectious diseases[J].China Sport Science and Technology,2020,56(5):35-40.
- [25] 徐皓铭,宋君毅,李国兴,等.青少年学生锻炼行为的心理适应:基于扎根理论的探索性研究[J].广州体育学院学报,2022,42(3):77-85.
XU H M,SONG J Y,LI G X,et al.Psychological adaptation of adolescent students' exercise behavior:an exploratory research based on grounded theory[J].Journal of Guangzhou Sport University,2022,42(3):77-85.
- [26] 郑玥,颜军,朱昊,等.篮球运动改善大学生人际关系:自我控制中介作用[J].中国健康心理学杂志,2022,30(3):465-471.
ZHENG Y,YAN J,ZHU H,et al.Improving college students' interpersonal relationship through basketball:Mediating effect of self-control[J].China Journal of Health Psychology,2022,30(3):465-471.

Study on the influence for autoimmunity on the transmission of large infectious diseases from the perspective of physical and health integration

Zhang Yuhua^{1a}, Li Haiyin^{1b}, Bi Yuanhong², Liu Xianhui³

(1. a. Institute of Physical Education; b. Department of Mathematics and Information, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, China; 2. School of Statistics and Mathematics, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010051, China; 3. Hematology, Henan Province Hospital of TCM, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: In order to study the influence of autoimmunity on the spread of large infectious diseases, an infectious disease model of four populations for susceptible, close contacts, infected and recovered, is established, the basic regeneration number is given, and the stability of the disease-free equilibrium and the endemic equilibrium are discussed. When the autoimmunity is less than $\min\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$, infectious disease will spread, but when the autoimmunity is greater than μ^* , infectious diseases will gradually disappear. The importance of accelerating the promotion of physical and health integration and improving the body's autoimmunity will be highlighted, providing reference for the healthy development of physical and health integration in China.

Keywords: physical and health integration; autoimmunity; infectious disease; stability