

时间贴现现在神经和行为上的年龄特征*

何嘉梅

(辽宁师范大学教育学院, 大连, 116029) (西南大学心理学院, 重庆 400715)

摘要 时间贴现的年龄发展具有阶段性。前额皮质, 边缘系统和多巴胺能系统的发展成熟是从儿童期到成人期时间贴现发展变化的神经生物基础。成人期到老年期时间贴现年龄特征的研究结果不一致。概率贴现、未来定向、延迟满足等被用来探讨时间贴现年龄发展特征。可以从大脑不同区域的发展轨迹, 延迟时段的心理意义来进一步深入研究。

关键词 时间贴现; 年龄特征; 大脑的发展成熟; 概率贴现; 未来定向; 延迟满足

分类号 B842

1 引言

时间贴现是指个人对事件的价值量估计随着时间的流逝而下降的心理现象, 它是行为选择理论的一个重要组成部分。时间贴现的年龄特征研究发现, 从儿童期到成人期时间贴现的研究结果具有一致性, 时间贴现曲线随着年龄的增长呈现逐渐平缓的趋势; 成年期以后直到老年期内时间贴现的研究结果不一致。时间贴现在 6 岁到 11 岁儿童和 12 岁到 17 岁青少年之间有显著的年龄差异(Scheres et al., 2006), 6 岁到 11 岁儿童的时间贴现函数曲线比 12 岁到 17 岁青少年的贴现函数曲线更陡峭; 平均年龄为 12 岁的青春人群和平均年龄为 20 岁的大学生人群的时间贴现年龄差异研究(Green, Fry, & Myerson, 1994; Green, Myerson, & Ostraszewski, 1999)发现, 青春人群的时间贴现曲线比大学生的时间贴现曲线更陡峭, 但是平均年龄为 20 岁的大学生人群的时间贴现函数曲线与平均年龄为 68 岁的老年人群的时间贴现函数相比, 只呈现出轻微的更陡峭的趋势。另外一个研究则发现, 在平均年龄为 33 岁的成年人和平均年龄为 71 岁的老年人之间时间贴现没有差异(Green, Myerson, Lichtman, Rosen, & Fry,

1996)。Read 和 Read (2004)发现延迟获得的奖金的贬值程度在平均年龄为 44 岁的中年人群中低于平均年龄为 25 岁的年轻成人和平均年龄为 75 岁的老年人, 相似的结果还有 Harrison 等的研究(Harrison, Lau, & Williams, 2002)。

从这些研究结果可以看出, 时间贴现的年龄发展呈现两个阶段性, 从儿童期到成人期时间贴现曲线的陡峭程度急剧变缓, 价值贬值的速度随着个体年龄的增长而减慢。从儿童期到成人期个体大脑的发展成熟为时间贴现的发展变化提供了神经生物基础。随着大脑皮质和皮质下区域以及各区域之间联系的增强, 个体的认知能力逐步发展成熟, 为时间贴现的发展成熟奠定了基础。从成人期直到老年期时间贴现曲线陡峭程度的变化很小, 价值贬值速度在不同年龄人群之间的差异很小, 但是这个年龄段上时间贴现年龄特征的研究结果不一致。很多研究者已经尝试从其他心理现象入手来探讨时间贴现的年龄发展特征。需要注意的是, 目前发现的时间贴现在不同年龄人群间的差异主要集中在时间贴现曲线的陡峭程度上的变化, 而不是时间贴现函数的差异上。研究者采用的时间贴现函数的形式是一致的, 大都采用双曲线时间贴现函数来拟合实验数据, 年龄差异集中在曲线的陡峭程度上。认为不同年龄个体的时间贴现符合相似的规律, 时间贴现的年龄差异是数量上的差异而不是质量上的差异。时间贴现发展成熟过程中呈现出的两个阶段性提示我们,

收稿日期: 2012-01-12

* 西南大学研究生科技创新基金项目 (ky2009016)资助。

通讯作者: 何嘉梅, E-mail: jiamei998@126.com

在不同的年龄阶段时间贴现心理机制可能有差异,通过探讨年龄因素对时间贴现的影响可以帮助我们区分不同年龄段上对时间贴现的发展有重要作用的因素,有利于解决对时间贴现心理机制的探讨还存在争议的问题。在已有的时间贴现心理机制的探讨中还没有统一的结论,这可能是因为以往的研究忽视了年龄因素,使得各种时间贴现的影响因素在不同的年龄段相互混淆。

2 儿童期到成人期大脑的发展和成熟对时间贴现的影响

2.1 时间贴现的神经基础

个体在时间贴现任务中的表现受到前额皮质区域和边缘系统,以及多巴胺能系统的调节(Berns, Laibson, & Loewenstein, 2007; Sanfey, Loewenstein, McClure, & Cohen, 2006; McClure, Laibson, Loewenstein, & Cohen, 2004)。前额皮质(prefrontal cortex)在选择即时获得的奖金和延迟获得的奖金中都被激活,而受中脑多巴胺系统支配的边缘系统和相关的旁边缘皮质投射区域(limbic structures and associated paralimbic cortical projections)只在选择即时获得的奖金时被激活(McClure et al., 2004)。伏隔核(accumbens)的受损损害了对延迟时间信息的加工(Acheson et al., 2006)。皮质基础神经节环路(cortico-basal ganglia loops)的不同区域分别被即时和延迟获得的奖励激活(Tanaka et al., 2004)。脑岛(insula)后部和纹状体(striatum)在延迟满足、延迟时间的加工中有重要作用(Wittmann, Leland, & Paulus, 2007; Wittmann, Simmons, Aron, & Paulus, 2010)。

2.2 儿童期到成人期大脑发展对时间贴现的影响

促进认知能力发展的自下而上的边缘区域和自上而下的前额控制区域(Casey, Jones, & Hare, 2008)在青少年期经历了重要变化。边缘系统的发展成熟要早于前额控制系统,目标定向行为中抑制不恰当想法和行为的认知控制系统成熟晚于边缘系统,而且它的发展持续到成年期(Blakemore, 2008; Choudhury, Blakemore, & Charman, 2006; Burnett, Bird, Moll, Frith, & Blakemore, 2008)。它们与在青少年期发生重塑的社会-情绪神经网络多巴胺能系统(Steinberg, 2008)一起促进了个体对社会情绪信息的加工调节,使得时间贴现的儿童期到成人期之间出现规律性的变化,时间贴现曲

线随着年龄的增长呈现逐渐平缓的趋势。

前额皮质是人脑中最晚成熟的区域,它的发展对完成时间贴现任务等需要的决策和认知控制能力的成熟有重要作用(Hare & Casey, 2005)。前额区域的不成熟妨碍了对恰当行为的引导,阻碍了对未来结果的恰当估价。这是与在被即时获得的奖金而不是由长远利益引导的决策中皮质下区域有更大的激活(McClure et al., 2004)是一致的。相比于成人,儿童和青少年在完成认知任务时前额区域有更大范围的激活而且被激活的区域也更扩散(Durston et al., 2006),表明与认知任务有关的脑区活动随着年龄的增长越来越集中。这是与加工即时获得的奖金时腹正中前额皮质和双侧次级前额皮质之间的相互联系随着年龄的增长而增强(Christakou, Brammer, & Rubia, 2011)是一致的。认知控制系统中各部分之间的联系以及它们对其它区域的投射也是随着年龄逐渐增强的(Liston et al., 2006; Chamberlain et al., 2009)。前额皮质和基底神经节(basal ganglia)之间神经束的发展成熟从儿童期开始持续到成人期(Thomas et al., 2004; Tanaka et al., 2004),它们与忽视不恰当的反应、抑制不相干的刺激(Liston et al., 2006)等冲动控制有关。

相比于不成熟的前额控制区域,青少年的行为更多地受到相对成熟的边缘系统(limbic system)的调节,做出不理智的决定去追求立即的而不是长远的收益。通过动物对奖金的学习研究(Schultz, 2006)和人类的脑成像研究(Ernst, Pine, & Hardin, 2006),发现相对于儿童和成人,青少年对奖金的预期在伏隔核引起了更大的神经激活,这与青少年期冲动和风险行为的增多有关(Galvan et al., 2006; Steinberg, 2007; Steinberg, 2010)。

加工社会信息的多巴胺能系统(Heberlein, Adolphs, Tranel, & Damasio, 2004)从9岁到10岁开始发生重构,在青春期出现重要变化(Steinberg, 2008),包括编码情绪和加工动机的杏仁核、伏隔核、眶额皮质、内侧前额皮质和颞上沟(superior temporal sulcus) (Nelson, Leibenluft, McClure, & Pine, 2005; Cooper & Knutson, 2008; Eshel, Nelson, Blair, Pine, & Ernst, 2007)。在时间贴现选择中被激活的纹状体(Wittmann et al., 2007)和前额皮质(McClure et al., 2004)中多巴胺接收器的密度发生改变(Sisk & Zehr, 2005),并且皮质和皮质下区域

之间多巴胺接收器密度改变的程度和时间不一致, 这种相对密度的变化成为青少年期奖金加工的基础, 使得前额皮质中多巴胺能的活动在青少年期有显著增加, 并且达到最高水平。同时其它激素对社会刺激的再认和记忆的调节也很重要(Nelson et al., 2005; Knuston & Greer, 2008), 影响了社会刺激引起的情绪和行为反应。

由此, 尚未成熟的前额皮质(Casey et al., 2008)在儿童期和青少年期不能提供足够的自上而下的控制来调节被奖励和情绪激活的加工区域(比如伏隔核和杏仁核), 导致了前额皮质系统在奖金估计和情绪反应中的作用比伏隔核和杏仁核起的作用小, 妨碍了对恰当行为的引导, 阻碍了对未来结果的恰当估价(Mcclure et al., 2004)。相对于儿童和成人, 多巴胺能系统的变化导致了青少年在面对情绪和社会刺激时, 他们的边缘区域、旁边缘区域和额中区(limbic, paralimbic, medial prefrontal areas)有更大的激活, 使得对奖金和代价的估值(Mcclure et al., 2004; Preuschoff, Bossaerts, & Quartz, 2006; Yacubian et al., 2006)更多地受到社会情绪系统的影响(Hare et al., 2008; Boyer, 2006)。随后前额皮质内各区域之间的联结(Verbruggen & Logan, 2008; Velanova, Wheeler, & Luna, 2008), 前额皮质与其他脑区(Wittmann, 2009; Rubia, Halari, Christakou, & Taylor, 2009; Cardinal, 2006)之间的联结在结构和功能上的改变使得大脑的认知控制系统提高了自我调节的能力(Steinberg, 2008; Christakou et al., 2011; Ballard & Knutson, 2009; Clark et al., 2008; Rubia et al., 2006), 使得成人期价值贬值的速度低于儿童期和青少年期。

3 时间贴现年龄差异的行为研究

3.1 生活经历和环境因素对从成人期到老年期之间时间贴现年龄特征的影响

尽管如此, 时间贴现的年龄变化也不能完全由大脑结构和功能的发展成熟解释, 尤其是成人期以后时间贴现的年龄变化特征, 目前还缺乏成人期以后时间贴现年龄特征的脑机制研究。

人格特质在 30 岁左右逐渐稳定(Green et al., 1996)。对时间贴现有影响的冲动和冒险从青春后期和成年早期的高水平急速下降, 到 30 岁左右达到很低的水平并且在 30 岁以后逐渐稳定。成人

期以后时间贴现年龄特征不一致的研究结果(Green et al., 1996; Read et al., 2004; Harrison et al., 2002; Green et al., 1994)提示除了大脑结构和功能的发展成熟对时间贴现的年龄变化有重要影响之外, 其他因素所起的作用也不容忽视。行为经济模型认为老年个体在做决策时会考虑他们生命中还剩下的时间长度, 使得他们对延迟奖励的贬值程度大于年轻个体(Sozou & Seymour, 2003)。时间贴现中的环境因子(Green et al., 1996)使得年轻成人和老年成人之间时间贴现的差异有很多可能的解释, 这些年龄差异可能反映了个体有多大的机会可以体验到延迟获得的奖励为我们带来的收益和社会经济地位的差异等。研究发现成人的语言智力(verbal IQ)和时间贴现呈负相关(Shamosh & Gray, 2008)。语言智力分数与家庭收入和父母的教育有关, 但是在最近的研究(Olson, Hooper, Collins, & Luciana, 2007)中没有发现收入水平、父母的教育与时间贴现之间存在相关。大多数时间贴现研究都没有控制被试的智力水平, 因此智力和时间贴现之间的关系还不清楚。

时间贴现还受到个体生活经历的影响(Griskevicius, Tybur, Delton, & Robertson, 2011)。生命历史进化的理论认为个体对延迟等待中蕴含的风险的认知受到生活环境中死亡率和资源缺乏程度的影响。同时家庭环境中父母的教养方式(是否与孩子讨论经济问题)、父母的未来定向和责任心对孩子成人后的经济行为有虽然微弱但是非常清晰的影响(Webley & Nyhus, 2006)。不同年龄的个体出生时的社会文化环境, 社会经济条件之间的差异使得个体在成长中接受的教育和文化影响各不相同, 这些生活经历的不同可能是不同年龄的个体对价值的折扣不同的原因。

3.2 利用与时间贴现关系紧密的其它心理现象来探讨时间贴现年龄特征

除了从个体的生活经历和环境因素探讨时间贴现的年龄差异, 研究者还从与时间贴现关系紧密的其它心理现象入手探讨时间贴现的年龄差异。

时间贴现中蕴含着风险因子, 等待的延迟时间越长, 就越有可能发生意外事件阻碍奖励的获得(Myerson, Green, Hanson, Holt, & Estle, 2003), 所以一些研究从概率贴现的角度来探讨年龄因素对时间贴现的影响(Olson et al., 2007)。但是, 这两

种贴现现象之间的关系在成人人群中还没有得到一致的结论(Ohmura, Takahashi, & Kitamura, 2005; Green & Myerson, 2004)。对成人和动物研究表明奖励的数量在时间贴现和概率贴现中有相反的作用(Green et al., 1999; Myerson et al., 2003)。以动物为被试的研究发现时间贴现和概率贴现的脑机制存在差异(Acheson et al., 2006)。因此, 时间贴现和概率贴现可能有不同的心理加工过程(Green et al., 2004), 利用概率贴现来探讨时间贴现的年龄差异可能并不合适。

从未来定向(future orientation)的角度对时间贴现的年龄特征(Webley & Nyhus, 2006; Steinberg & Graham, 2009)的研究发现, 从10岁到30岁之间个体的时间贴现的年龄差异主要出现在13岁以下(包括13岁)的个体与16岁以上(包括16岁)的个体之间, 13岁到16岁之间的时期对时间贴现的年龄发展非常重要。较小的青少年的未来定向低于16岁以上的个体, 他们对当前决策的长远结果的认知显著弱于年龄较大(16岁以上)的青少年(Grisso et al., 2003), 反映了他们对即时获得的奖金的偏好。这与他们较少考虑未来, 对决策的未来结果较少进行预期是一致的。然而在时间贴现和未来定向的研究中, 时间贴现任务往往被用作度量未来定向的方法, 因此在利用未来定向探讨时间贴现的年龄差异时必须非常谨慎。

研究者尝试从延迟满足(delay of gratification)的角度来分析时间贴现的年龄特征(Forstmeier, Drobetz, & Maercker, 2011)。对于年龄较大的儿童和青少年, 研究者大都采用二选一的方法测量他们的延迟满足, 即要求被试在同时呈现数量较小的即时获得的奖励和数量较大的延迟获得的奖励之间进行选择, 这种方法的进一步发展就是时间贴现范式(Forstmeier, et al., 2011)。从这个角度来说延迟满足和时间贴现是可以相互替换的心理学概念。但是时间贴现和延迟满足两个概念之间存在差异。延迟满足与智力、学业成就和成就需求有关, 它被用来预测个体的注意控制、学业表现(Duckworth & Seligman, 2005)、动机(Ayduk et al., 2000)、帮助寻求、自我效能和目标定向。相反, 在时间贴现的研究中, 智力的作用还不清楚, 而且价值随时间贬值的程度并不能用来度量个体在对未来价值进行估值时的动机(Ebert, 2010)。另外, 在实验材料的选择上, 延迟满足程序要求被试有

真实的行为, 而时间贴现可以只包括假定的选择。虽然时间贴现和延迟满足都讨论了价值, 但是两者讨论的角度不同。时间贴现从时间的角度来讨论价值, 关心的是价值随时间流逝而降低的过程; 延迟满足是从需要、动机的角度讨论价值, 关心的是需要、动机对价值的影响。因此, 在使用延迟满足来探讨时间贴现的年龄差异时一定要谨慎。

4 展望

4.1 神经机制研究探讨时间贴现的年龄特征

边缘系统和前额皮质系统, 以及多巴胺能系统的成熟为从儿童期到成人期之间时间贴现的年龄变化奠定了基础(Casey et al., 2008; Steinberg, 2008), 但是这里还存在尚未澄清的问题。从儿童期到成人期, 时间贴现中价值贬值的程度随着个体年龄的增长逐渐降低, 这是与前额皮质的逐渐成熟是一致的, 前额皮质的成熟增强了个体的认知控制能力, 个体有能力抑制对即时获得奖金的冲动, 愿意等待延迟获得的奖金。然而它与多巴胺能的变化不完全一致, 前额皮质中影响青少年奖金加工的多巴胺能的活动在青少年期有显著增加并且达到最高水平(Steinberg, 2008), 增加了青少年的冒险行为, 他们比成人和儿童更愿意为了获得数量较多的奖金而冒险。因此, 从儿童期到成人期之间大脑不同区域的发展差异以及它们的相互合作关系对时间贴现年龄特征的影响还需要进一步探讨。

研究者提出用人类行为抉择双系统模型来解释时间贴现现象(Berns et al., 2007; Sanfey et al., 2006), 但是还没有研究论证过双系统模型是否适合不同年龄的群体, 而且也没有研究能够解释子系统在完成时间贴现任务时的交互作用方式。这些子系统涉及到的不同大脑区域(Mcclure et al., 2004), 具有不同的发展成熟轨迹, 今后可以利用大脑不同区域的发展成熟轨迹来探讨子系统之间的交互作用。

4.2 行为研究探讨时间贴现的年龄特征

距离现在远近不同的时间段在时间贴现中的不同作用得到了越来越多的关注(Scholten & Read, 2006; Myerson, Green, & Warusawitharana, 2001; Cajueiro, 2006)。研究发现个体对距离现在远近不同的未来时间段有不同的心理特征(黄希庭,

1994), 不同的延迟时间段在时间贴现中具有不同的稳定性, 延迟时间越短, 价值贬值程度的稳定性越高(Ohmura, Takahashi, Kitamura, & Wehr, 2006)。对大学生被试的研究还发现, 被试采用不同的决策策略来完成距离现在远近不同的时间段上的时间贴现任务, 影响价值估计和选择的心理因素在不同的延迟时间段上所起的作用不同(何嘉梅, 黄希庭, 2009; 何嘉梅, 黄希庭, 尹可丽, 罗扬眉, 2010)。从现在起到未来 50 年内的延迟时间被分为了 3 个阶段, 各自具有不同的时间贴现心理状态, 被试采用不同的决策策略做出贴现选择。从现在到未来 2 周内, 被试采用规避损失、偏好风险的策略做出贴现选择; 从未来 2 周起直到未来 10 年内, 被试从为什么做某件事的层面上来计划生活(Trope & Liberman, 2003), 采取非补偿性策略、需求与风险并重的策略愿意长期等待延迟获得的奖金; 从未来 10 年起直到未来 50 年内, 被试采用规避风险、聊胜于无的策略不愿意等待延迟获得的奖金(何嘉梅等, 2010)。在未来的研究中, 将探讨距离现在远近不同的延迟时间段对不同年龄群体的心理意义和影响不同年龄的个体做出时间贴现选择的心理因素。探讨在大学生被试中发现的具有不同心理状态的 3 个延迟时间段是否在其它年龄段的人群中也处于不同的心理状态, 其它年龄群体是否也采用不同的决策策略来完成距离现在远近不同的时间段上的时间贴现任务。

参考文献

- 何嘉梅, 黄希庭. (2009). 时间贴现的性质与脑机制. *心理科学进展*, 17(1), 98–105.
- 何嘉梅, 黄希庭, 尹可丽, 罗扬眉. (2010). 时间贴现的分段性. *心理学报*, 42(4), 474–484.
- 黄希庭. (1994). 未来时间的心理结构. *心理学报*, 26(2), 121–127.
- Acheson, A., Farrar, A. M., Patak, M., Hausknecht, K. A., Kieres, A. K., Choi, S., et al. (2006). Nucleus accumbens lesions decrease sensitivity to rapid changes in the delay to reinforcement. *Behavioural Brain Research*, 173(2), 217–228.
- Ayduk, O., Mendoza-Denton, R., Mischel, W., Downey, G., Peake, P. K., & Rodriguez, M. (2000). Regulating the interpersonal self: Strategic self-regulation for coping with rejection sensitivity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 776–792.
- Ballard, K., & Knutson, B. (2009). Dissociable neural representations of future reward magnitude and delay during temporal discounting. *Neuroimage*, 45(1), 143–150.
- Berns, G. S., Laibson, D., & Loewenstein, G. (2007). Intertemporal choice-toward an integrative framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 482–488.
- Blakemore, S. J. (2008). The social brain in adolescence. *Neuroscience*, 9(4), 267–277.
- Boyer, T. W. (2006). The development of risk-taking: A multi-perspective review. *Developmental Review*, 26(3), 291–345.
- Burnett, S., Bird, G., Moll, J., Frith, C., & Blakemore, S. J. (2008). Development during adolescence of the neural processing of social emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(9), 1736–1750.
- Cajueiro, D. O. (2006). A note on the relevance of the q-exponential function in the context of intertemporal choices. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 364, 385–388.
- Cardinal, R. N. (2006). Neural systems implicated in delayed and probabilistic reinforcement. *Neural Networks*, 19(8), 1277–1301.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 111–126.
- Chamberlain, S. R., Hampshire, A., Muller, U., Rubia, K., Campo, N., Craig, K., et al. (2009). Atomoxetine modulates right inferior frontal activation during inhibitory control: A pharmacological functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry*, 65(7), 550–555.
- Choudhury, S., Blakemore, S. J., & Charman, T. (2006). Social cognitive development during adolescence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1(3), 165–174.
- Christakou, A., Brammer, M., & Rubia, K. (2011). Maturation of limbic corticostriatal activation and connectivity associated with developmental changes in temporal discounting. *Neuroimage*, 54(2), 1344–1354.
- Clark, L., Bechara, A., Damasio, H., Aitken, M. R. F., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2008). Differential effects of insular and ventromedial prefrontal cortex lesions on risky decision-making. *Brain*, 131(5), 1311–1322.
- Cooper, J. C., & Knutson, B. (2008). Valence and salience contribute to nucleus accumbens activation. *Neuroimage*, 39(1), 538–547.
- Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. (2005). Self-discipline outdoes IQ in predicting academic performance of adolescents. *Psychological Science*, 16(12), 939–944.

- Durston, S., Davidson, M., Tottenham, N., Galvan, A., Spicer, J., Fossella, J., et al. (2006). A shift from diffuse to focal cortical activity with development. *Developmental Science*, 9(1), 1–20.
- Ebert, J. E. J. (2010). The surprisingly low motivational power of future rewards: comparing conventional money-based measures of discounting with motivation-based measures. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 111(2), 71–92.
- Eshel, N., Nelson, E. E., Blair, J., Pine, D. S., & Ernst, M. (2007). Neural substrates of choice selection in adults and adolescents: Development of the ventrolateral prefrontal and anterior cingulate cortices. *Neuropsychologia*, 45(6), 1270–1279.
- Ernst, M., Pine, D. S., & Hardin, M., (2006). Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence. *Psychological Medicine*, 36(3), 299–312.
- Forstmeier, S., Drobetz, R., & Maercker, A. (2011). The delay of gratification test for adults validating a behavioral measure of self-motivation in a sample of older people. *Motivation and Emotion*, 35(2), 118–134.
- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *Journal of Neuroscience*, 26(25), 6885–6892.
- Green, L., Fry, A. F., & Myerson, J. (1994). Discounting of delayed rewards: A life-span comparison. *Psychological Science*, 5(1), 33–36.
- Green, L., & Myerson, J. (2004). A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. *Psychological Bulletin*, 130(5), 769–792.
- Green, L., Myerson, J., Lichtman, D., Rosen, S., & Fry, A. (1996). Temporal Discounting in choice between delayed rewards: The role of age and income. *Psychology and Aging*, 11(1), 79–84.
- Green, L., Myerson, J., & Ostaszewski, P. (1999). Discounting of delayed rewards across the life span: Age differences in individual discounting functions. *Behavioural Processes*, 46(1), 89–96.
- Grisso, T., Steinberg, L., Woolard, J., Cauffman, E., Scott, E., Graham, S., et al. (2003). Juveniles' competence to stand trial: A comparison of adolescents' and adults' capacities as trial defendants. *Law and Human Behavior*, 27(4), 333–363.
- Griskevicius, V., Tybur, J. M., Eelton, A. W., & Robertson, T. E. (2011). The influence of mortality and socioeconomic status on risk and delayed rewards: A life history theory approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 100(6), 1015–1026.
- Hare, T. A., Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H., & Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. *Biological Psychiatry*, 63(10), 927–934.
- Hare, T. A., & Casey, B. J. (2005). The neurobiology and development of cognitive and affective control. *Cognition, Brain, Behavior*, 9(3), 273–286.
- Harrison, G. W., Lau, M. I., & Williams, M. B. (2002). Estimating individual discount rates in denmark: A field experiment. *American Economic Review*, 92(5), 1606–1617.
- Heberlein, A., Adolphs, R., Tranel, D., & Damasio, H. (2004). Cortical regions for judgments of emotions and personality traits from point-light walkers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(7), 1143–1158.
- Knuston, B., & Greer, S. M. (2008). Anticipatory affect: Neural correlates and consequences for choice. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 363(1511), 3771–3786.
- Liston, C., Watts, R., Tottenham, N., Davidson, M., Niogi, S., Ulug, A., et al. (2006). Frontostriatal microstructure modulates efficient recruitment of cognitive control. *Cerebral Cortex*, 16(4), 553–560.
- McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2004). Separate neural systems value immediate and delayed monetary. *Rewards Science*, 306(5695), 503–507.
- Myerson, J., Green, J., Hanson, J. S., Holt, D. D., & Estle, S. J. (2003). Discounting delayed and probabilistic rewards: Processes and traits. *Journal of Economic Psychology*, 24(5), 619–635.
- Myerson J., Green L., & Warusawitharana M. (2001). Area under the curve as a measure of discounting. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 76(2), 235–243.
- Nelson, E., Leibenluft, E., McClure, E., & Pine, D. (2005). The social re-orientation of adolescence: A neuroscience perspective on the process and its relation to psychopathology. *Psychological Medicine*, 35(2), 163–174.
- Ohmura, Y., Takahashi, T., & Kitamura, N. (2005). Discounting delayed and probabilistic monetary gains and losses by smokers of cigarettes. *Psychopharmacology*, 182(4), 508–515.
- Ohmura, Y., Takahashi, T., Kitamura, N., & Wehr, P. (2006). Three-month stability of delay and probability discounting measures. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 14(3), 318–328.
- Olson, E. A., Hooper, C. J., Collins, P., & Luciana, M. (2007). Adolescents' performance on delay and probability discounting tasks: Contributions of age, intelligence,

- executive functioning, and self-reported externalizing behavior. *Personality and Individual Difference*, 43(7), 1886–1897.
- Preuschoff, K., Bossaerts, P., & Quartz, S. R. (2006). Neural differentiation of expected reward and risk in human subcortical structures. *Neuron*, 51(7), 381–390.
- Read, D., & Read N. L. (2004). Time discounting over the lifespan. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 94, 22–32.
- Rubia, K., Halari, R., Christakou, A., & Taylor, E. (2009). Impulsiveness as a timing disturbance: Neurocognitive abnormalities in attention-deficit hyperactivity disorder during temporal processes and normalization with methylphenidate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, 364(1525), 1919–1931.
- Rubia, K., Smith, A. B., Woolley, J., Nosarti, C., Heyman, I., Taylor, E., et al. (2006). Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 27(12), 973–993.
- Sanfey, A. G., Loewenstein, G., McClure, S. M., & Cohen, J. D. (2006). Neuroeconomics: Cross-currents in research on decision-making. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(3), 108–116.
- Scheres, A., Dijkstra, M., Ainslie, E., Balkan, J., Teynolds, B., Sonuga-Barke, E., et al. (2006). Temporal and probabilistic discounting of rewards in children and adolescents: Effects of age and ADHA symptoms. *Neuropsychologia*, 44(11), 2092–2103.
- Scholten, M., & Read, D. (2006). Discounting by intervals: A generalized model of intertemporal choice. *Management Science*, 52(9), 1424–1436.
- Schultz, W. (2006). Behavioral theories and the neurophysiology of reward. *Annual Review Psychology*, 57(1), 87–115.
- Shamosh, N. A., & Gray, J. R. (2008). Delay discounting and intelligence: A meta-analysis. *Intelligence*, 36(4), 289–305.
- Sisk, C., & Zehr, J. (2005). Pubertal hormones organize the adolescent brain and behavior. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 26(3–4), 163–174.
- Sozou, P. D., & Seymour, R. M. (2003). Augmented discounting: interaction between ageing and time-preference behaviour. *Proceedings of the Royal Society of London series B: Biological Sciences*, 270(1519), 1047–1053.
- Steinberg, L. (2007). Risk taking in adolescence: New perspectives from brain and behavioral science. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 55–59.
- Steinberg, L. (2008). A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking. *Developmental Review*, 28(1), 78–106.
- Steinberg, L. (2010). A dual systems model of adolescent risk-taking. *Developmental Psychobiology*, 52(3), 216–224.
- Steinberg, L., & Graham S. (2009). Age differences in future orientation and delay discounting. *Child Development*, 80(1), 28–44.
- Tanaka, S. C., Doya, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., & Yamawaki, S. (2004). Prediction of immediate and future rewards differentially recruits cortico-basal ganglia loops. *Nature Neuroscience*, 7(8), 887–893.
- Thomas, K. M., Hunt, R. H., Vizueta, N., Sommer, T., Durston, S., Yang, Y., et al. (2004). Evidence of developmental differences in implicit sequence learning: An fMRI study of children and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1339–1351.
- Trope, Y., & Liberman, N. (2003). Temporal construal. *Psychological Review*, 110(3), 403–421.
- Velanova, K., Wheeler, M. E., & Luna, B. (2008). Maturation changes in anterior cingulate and frontoparietal recruitment support the development of error processing and inhibitory control. *Cerebral Cortex*, 18(11), 2505–2522.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends of Cognitive Science*, 12(11), 418–424.
- Webley, P., & Nyhus, E. K. (2006). Parents' influence on children's future orientation and saving. *Journal of Economic Psychology*, 27(1), 140–164.
- Wittmann, M., (2009). The inner experience of time. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, 364(1525), 1955–1967.
- Wittmann, M., Leland, D. S., & Paulus, M. P. (2007). Time and decision making: Differential contribution of the posterior insular cortex and the striatum during a delay discounting task. *Experimental Brain Research*, 179(4), 643–653.
- Wittmann, M., Simmons, A. N., Aron, J. L., & Paulus, M. P. (2010). Accumulation of neural activity in the posterior insula encodes the passage of time. *Neuropsychologia*, 48(10), 3110–3120.
- Yacubian, J., Glascher, J., Schroeder, K., Sommer, T., Braus, D., & Buchel, C. (2006). Dissociable systems for gain- and loss-related value predictions and errors of prediction in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 26(37), 9530–9537.

The Characteristic of Temporal Discounting on Age in Neural and Behavioral Views

HE Jia-Mei

(Liaoning Normal University, Dalian 116029, China) (Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: There are two sessions in the development of temporal discounting on age, the one is the time period between childhood and adulthood and the other one is between adulthood and the old age. The curve of temporal discounting gets flatter as the individuals grow up during the time period from childhood to adulthood, the steepness of the function of temporal discounting decreases and the discounting rate slows down as the age. The development and maturation of human's brain is the neurobiological fundamental of the development of temporal discounting on this period of age. The enhanced communication between the subcortical and cortical areas and the heightened connection within the differential areas in cortical and subcortical regions are the key factors to the maturation of cognitive capacity when the age of individuals is between childhood and adulthood. The temporal discounting changes during this period as a result of the development and maturation of the prefrontal cortex, limbic system and the remodeling of the brain's dopaminergic system. The steepness of the function of temporal discounting has slightly difference between adulthood and the old age, the changing of the temporal discounting rate is getting slowly. However, some competing results have been found, the researches of temporal discounting on this period haven't converged yet. A number of efforts have been made on studying the psychological phenomenon which has strong connection to temporal discounting, such as probability discounting, future orientation and delay of gratification, in order to figure out the psychological mechanism of temporal discounting on age. In future, the difference between trajectory of brain areas and the psychological stage of delayed duration might be the perspectives to figure out the characteristic of temporal discounting on age.

Key words: temporal discounting; developmental characteristic on age; brain's development and maturation; probability discounting; future orientation; delay of gratification