心理学报 2017, Vol. 49, No.8, 1022−1030
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2017.01022

个体差异对工作记忆训练迁移效果的调节*

朱祖德[1] 段懿行[2] 王穗苹[2]

([1]江苏师范大学语言科学与艺术学院; 江苏省语言与认知神经科学重点实验室; 语言能力协同创新中心, 徐州 221009) ([2]华南师范大学心理学院, 广州 510631)

摘 要 本研究考察了流体智力基线水平对工作记忆训练迁移效果的影响。采用前后测设计, 以视觉和听觉双任务 n-back 作为工作记忆训练任务, 对训练组进行为期一个月的训练; 积极对照组采用阅读任务进行训练。结果发现积极控制组的流体智力水平在基线与后测之间无显著变化; 而训练组流体智力水平在后测时与基线相比有显著提高, 且工作记忆训练提升量越大的个体其流体智力改善越大。说明认知训练有效迁移到了流体智力水平的改善上。我们还发现流体智力基线水平调节了工作记忆训练对流体智力水平的迁移, 即工作记忆训练提升量越大, 流体智力改善值越大, 对于那些流体智力基线水平较高的人来说, 工作记忆训练对流体智力改善的效果更大。流体智力基线水平、工作记忆训练提升量及两者的乘积共同影响了流体智力改善值。这一结果表明个体差异如流体智力基线水平可以调节工作记忆训练对流体智力水平的迁移。

关键词 工作记忆训练; 流体智力; 个体差异; 迁移效应

分类号 B842

1 前言

智力是人类的核心特征之一。相对于依赖经验积累的晶体智力, 流体智力(fluid intelligence)通常指个体天生具有的学习和解决问题的能力, 如知觉速度, 识别图形关系等(Cattell, 1963)。一般认为, 流体智力水平依赖于先天的禀赋, 并随着神经系统的成熟而逐渐提高(Baltes, Staudinger, & Lindenberger, 1999; Cattell, 1963; Gray & Thompson, 2004), 但最近的研究发现, 通过认知训练能够改善个体流体智力水平(彭君等, 2014; 赵鑫, 周仁来, 2010; 赵鑫, 王一雪, 刘丹玮, 周仁来, 2011; Au et al., 2015; Buschkuehl & Jaeggi, 2010)。

经过检验发现有效的认知训练任务包括珠心算与音乐(Lee, Lu, & Ko, 2007)、复述策略(Turley-Ames & Whitfield, 2003)、数字广度任务、言语广度任务、选择反应时任务(Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002)、视觉空间工作记忆任务、数字倒背任务与字母广度任务(Westerberg & Klingberg, 2007)和 n-back 工作记忆任务(Jaeggi, Buschkuehl, Jonides, & Perring, 2008; Jaeggi et al., 2010)等。由于工作记忆与流体智力之间相关度较高(Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999), 不少研究通过工作记忆训练来提升流体智力并取得了较好的效果。例如, 在正常健康被试群体中, Jaeggi 等人发现采用双任务 n-back 工作记忆任务进行训练, 能有效提高个体流体智力水平(Jaeggi et al., 2008, 2010); 工作记忆中某些加工子成分的训练也能提升流体智力水平(Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008; Li et al., 2008; Rudebeck, Bor, Ormond, O'Reilly, & Lee, 2012)。在特殊人群中, 也有一系列研究证实工作记忆训练能提升注意缺陷多动障碍患者的流体智力水平(Holmes et al., 2010; Klingberg et al., 2002, 2005)。

然而也有研究发现认知训练未能有效提高流体智力水平(Owen et al., 2010; Shipstead, Redick, &

收稿日期: 2015−12−24

* 国家自然科学基金项目(31571156)、哲学社会科学重点研究项目(15AZD048)和江苏高校优势学科二期建设工程——中国语言文学(PAPD)资助。

通讯作者: 朱祖德, E-mail: zhuzude@163.com.

Engle, 2012)。造成上述不一致的可能原因是个体差异影响到了训练迁移效果。有研究者指出流体智力水平的提高也许与个体是否具有足够大的改善空间有关(Shipstead et al., 2012)。Buitenweg, Murre 和 Ridderinkhof (2012) 也认为, 研究者应该关注个体差异, 尤其要研究被试的流体智力基线水平对训练的效果有何影响。当前考察个体差异如何影响认知训练效果的研究主要有三类。一类是采用核磁共振技术对个体大脑结构或功能的基线水平进行测量, 以此作为大脑可塑性指标来评估大脑可塑性对训练效果的影响。例如, 在以老年群体为被试所做的认知训练研究发现, 功能联结、大脑白质完整性的基线水平与迁移效果相关, 其中功能联结基线水平较低的个体在随后的评估中进步更大(Yin et al., 2014), 而胼胝体白质结构基线水平较高的个体其训练迁移效果维持时间更长(Wolf et al., 2014)。也有研究发现, 青年被试训练前背侧纹状体灰质容量越大, 其掌握动作游戏技能的速率越快(Erickson et al., 2010), 训练前后顶叶在完成动作游戏时的信号增强越多, 其在未训练工作记忆上的成绩增益也越大(Nikolaidis, Voss, Lee, Vo, & Kramer, 2014)。这些结果说明, 神经可塑性的个体差异影响到训练和迁移效果。尽管这类研究在揭示可塑性机制上具有重要意义, 对于大样本的实践来说, 由于难以获取核磁共振相关数据, 将其应用于指导个体化训练方案仍有不少困难。

后两类研究主要是考察个体行为差异对训练迁移的影响。一类是考察训练成绩的提升对迁移的影响。有研究者发现只有在工作记忆训练任务上出现提升的儿童才能在流体智力水平上获得迁移效应(Jaeggi, Buschkuehl, Jonides, & Shah, 2011)。也有研究发现工作记忆训练成绩的提高与儿童流体智力迁移效应呈正相关(彭君等, 2014; 赵鑫等, 2011)。这类结果对解释训练本身带来了流体智力迁移效应具有重要意义。有研究者认为, 由于训练组和控制组的心理期待、训练动机可能存在差异, 因而训练组的成绩提升未必完全是训练所带来的, 也可能是受这类心理混淆因素的影响才出现的(Boot, Simons, Stothart, & Stutts, 2013)。考虑到训练组被试接受了相同的实验处理, 此时能够更好地避免组间混淆变量的干扰, 因而这几项研究所发现的训练提升量与迁移效应量之间的正向线性关系较有力地支持工作记忆训练能够迁移到智力改善上的观点。而最后一类是考察训练前的个体差异对迁移的影响。如有研究者(Jaeggi, Buschkuehl, Shah, & Jonides, 2014)发现, 工作记忆训练有效地促进了视空间推理得分, 这种迁移效应不受认知需求(need for cognition)的影响, 而是受到训练前智力可塑性观念的影响。即, 认为智力能够被改变的个体比认为智力不能改变的个体在视空间推理上的改善更大。

总之, 尽管有研究发现基线个体差异对训练迁移有影响, 但对于个体差异能否影响到认知训练对流体智力成绩的迁移这一问题, 目前还没有定论。因此, 有必要进一步考察流体智力基线水平差异如何影响工作记忆训练对智力水平改善的迁移。为此, 本研究将招募的大学生被试随机分成训练组和积极控制组, 训练组进行为期一个月(每周训练 5 天, 每天训练约 25 分钟)的双任务 n-back 工作记忆训练, 积极控制组在同等时间下做科普知识阅读训练。实验采用瑞文标准推理测验考察流体智力水平。如果工作记忆能够有效提高流体智力表现, 那么训练组应当出现显著的迁移效应, 即训练组后测与基线相比的智力水平提高应显著大于控制组。

为了进一步考察流体智力基线水平个体差异是否影响工作记忆训练对流体智力水平的迁移, 本研究采用调节效应分析方法(温忠麟, 侯杰泰, 张雷, 2005)检测了流体智力基线水平与工作记忆训练提升量的交互项是否能够预测流体智力水平改善值。如果流体智力基线水平个体差异能够影响到工作记忆训练对流体智力的迁移, 那么在调节分析中的交互项对流体智力改善值回归系数应当达到显著水平。需要指出的是, 在调节分析中我们不仅把流体智力基线水平与工作记忆训练提升量的交互项放入回归方程, 而且这两个变量本身也会进入回归方程, 因而此时可以进一步考察训练组内被试的工作记忆训练提升量和流体智力水平改善值之间的相关性。因为训练组内所有被试接受了相同的实验处理, 能够较好地排除训练内容不同所引起的干扰效应。进一步地, 由于工作记忆训练提升量完全是由训练所带来的, 如果工作记忆训练提升量与流体智力改善值之间存在正相关, 将能进一步支持工作记忆训练本身可以改善流体智力的假设。

2　方法

2.1　被试

被试为 44 名在校大学生(男生 21 名, 女生 23 名), 随机将他们分配到训练组和积极控制组。训练

期间 4 名男生自愿退出, 最终积极控制组 19 人(8 男 11 女)、训练组 21 人(9 男 12 女)。被试年龄在 18~21 岁之间, 平均年龄为 19.7 岁, 标准差为 0.91。两组被试无显著性别($\chi^2 = 0.43$, $p = 0.81$)和年龄差异($t(38) = 0.02$, $p = 0.98$)。被试均为右利手, 无躯体疾病及精神障碍, 视力或矫正视力正常。被试均自愿参与实验, 实验之前均签署了知情同意书, 实验之后获得一定报酬。

2.2 训练任务与测验任务程序

2.2.1 双任务 n-back 任务

任务开始前告诉被试具体实验流程。首先, 电脑屏幕中央有一个“+”注视点, 环绕注视点周围其余 8 个位置会随机连续呈现一个位置刺激(方块), 位置刺激呈现 500 ms, 每一位置刺激呈现中间间隔 2500 ms; 与位置刺激同时呈现的还有通过耳机传出的听觉刺激, 声音刺激为 26 个英语字母中的辅音字母。被试的任务是做匹配判断: 当前的刺激(包括位置刺激与听觉刺激)是否与此前第 n 个出现的刺激(包括位置刺激与听觉刺激)匹配。如当 n = 2 时, 则比较当前刺激与它前面隔一个位置上的刺激是否匹配; 当 n = 3 时, 要求比较的是当前刺激和它前面隔两个位置上的刺激是否匹配, 依此类推。如果匹配则按键反应(位置匹配用左手食指按键盘上的“A”, 声音匹配用右手食指按“L”), 不匹配则不按键。每个组块(block)包括 20+n 个试次。

在本任务中, 任务难度随着 n 数值的增加而增加。n 的数值变化是依据被试任务完成的表现而定, 每一个组块之后被试的成绩都会进行分析统计, 当被试成绩≥80%时, n 会增加 1, 此时会告知被试“您表现不错, 接下来会加大难度, 请继续努力”; 而≤50%时, n 会减去 1, 此时会告知被试“当前难度似乎有些高, 接下来为您降低一级难度, 请继续努力”; 其余时候保持不变。被试最初以 2-back 任务开始进行训练。一天的训练约为 25 分钟, 包括 20 个组块。

2.2.2 瑞文标准推理测验

本研究采用经北京师范大学张厚粲和王晓平(1985)修订, 适用年龄范围宽、测验对象不受文化、种族与语言限制的瑞文标准推理测验(Raven’s Standard Progressive Matrices), 对被试的流体智力水平进行测试。该测验为非文字测验, 要求测试者进行图形完型, 即从备选答案中选出合适的部分图片使得测试图片变成一幅完整的有规律的图片。在答题过程中, 需要根据完整性、类同、推理等规则进行分析, 从而选出合适答案。整个测验为 A、B、C、D、E 五个分测验, 难度依次增加。每个分测验有 12 个项目, 难度也依次增加。瑞文推理测验通常是按顺序从前往后进行测试, 当出现一定错误后停止并计算相应得分。但为了避免被试基线与后测均看到相同测试项目, 本实验将该测验分半为平行测验Ⅰ和Ⅱ, 以更大限度地减少练习效应的干扰。平行测验Ⅰ为 A、B 分测验中的奇数项目和 D、E 分测验中的偶数项目以及 C 测验中前 6 个项目中的奇数项目和后 6 个项目中的偶数项目, 共计 30 项; 平行测验Ⅱ为 A、B 分测验中的偶数项目和 D、E 分测验中的奇数项目以及 C 测验中前 6 个项目中的偶数项目和后 6 个项目中的奇数项目, 共计 30 项。

2.2.3 实验流程

训练组与积极控制组使用瑞文标准推理测验平行测验Ⅰ进行基线测验, 随后进入训练期。在此期间, 训练组进行 n-back 任务训练, 被试自由选择一周中的 5 天进行训练, 其余 2 天休息, 每天训练约为 25 分钟, 训练期共持续 4 周; 而积极控制组做 20 套科技论文阅读并回答问题(如“请用 3 个关键词概括上述文章的主要内容”), 每次阅读开始前告知被试其前一次成绩, 并告知被试“请继续努力”, 其他无关变量如干预时间等与训练组保持一致。训练期结束后, 立即使用瑞文标准推理测验平行测验Ⅱ进行后测。

2.3 数据分析

我们采用独立样本 t 检验确认了两组被试流体智力基线水平没有显著差异。为考察工作记忆训练对流体智力成绩的影响, 我们做了 2(组别)×2(测验时间)的方差分析。并进一步分析考察了流体智力基线水平个体差异对工作记忆训练迁移到流体智力的影响, 即按照调节效应检验程序(温忠麟等, 2005)考察流体智力基线水平与工作记忆训练提升量如何相互作用而影响流体智力的改善。第一步回归以流体智力基线水平、工作记忆训练提升量为自变量, 第二步增加两者的交互作用项, 对流体智力改善值做了回归分析。选用工作记忆训练提升量是因为该变量能够较好地反映训练本身对工作记忆容量的改善。

3 结果

图 1 显示训练组被试随着训练时间增加在训练任务成绩上出现的变化。经过 20 天训练, 训练组工作记忆任务成绩大幅提升, 平均达到的最高水平为 n = 4.86, 标准差为 2.29, 其中成绩最好被试的最高

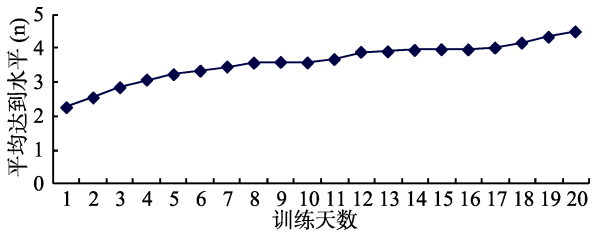


图 1　训练组 n-back 任务训练成绩

水平为 n = 8。工作记忆训练提升量平均值为 2.51, 标准差为 2.17。

两组被试在两次测验中的流体智力水平见图 2。训练组基线与后测的正确率($M \pm SD$, 下同)分别为 77.8% ± 12.7%, 89.0% ± 6.8%; 积极控制组基线与后测的正确率分别为 80.5% ± 10.9%, 81.4% ± 11.2%。经独立样本 t 检验发现两组被试的流体智力基线水平(测验正确率)无显著差异, t (38) = 0.73, p = 0.47。进行 2(组别：积极控制组/训练组)×2(测验时间：基线/后测)的重复测量方差分析, 结果发现, 组别主效应不显著, F < 1; 测验时间主效应显著, F (1, 38) = 37.92, p < 0.01, η^2 = 0.50; 组别与测验时间交互作用显著, F (1, 38) = 27.74, p < 0.01, η^2 = 0.42。进一步进行简单效应分析发现, 训练组后测的流体智力水平与基线相比显著提高(平均提高 11.3%, 标准差 8.3%, 范围为 0 ~ 26.7%, p < 0.01); 而积极控制组两次测验间无显著差异(p = 0.54)。

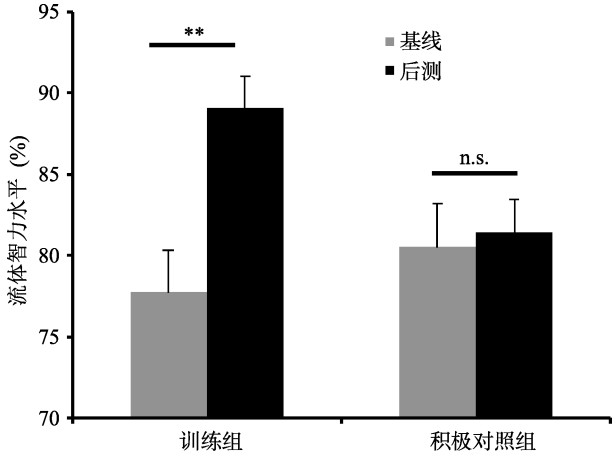


图 2　两组被试两次测验的流体智力水平(瑞文标准推理测验的正确率)

注：误差线为标准误。**为 p < 0.01; n.s.为无显著差异。

相关分析显示, 流体智力改善值与流体智力基线水平(r = −0.87, p < 0.001)、工作记忆训练提升量(r = 0.91, p < 0.001)相关显著, 流体智力基线水平与工作记忆训练提升量相关也显著(r = 0.49, p = 0.02)。随后进行的调节效应分析考察了流体智力基线水平对工作记忆训练迁移效果的影响, 结果见表 1。据温忠麟等人(2005)提出的调节效应检验程序, 对流体智力基线水平(M)在工作记忆训练提升量(X)和流体智力改善值(Y)之间进行调节作用检验, 流体智力基线水平为基线智力测验成绩, 工作记忆训练提升量为 n-back 任务中所达到的最大 n 值与基线值之间的差, 流体智力改善值为流体智力后测与基线水平差值。流体智力基线水平(M)与工作记忆训练提升量(X)经中心化, 采用多层次回归分析。经第一层回归发现, 工作记忆训练提升量越高, 训练后的流体智力改善程度越大(标准化回归系数为 0.61, t = 3.46, p < 0.01), 而流体智力基线水平较低者, 其改善值也较高(标准化回归系数为−0.35, t = 2.01, p = 0.06); 经第二层回归发现, 工作记忆训练提升量(X)×流体智力基线水平(M)系数交互项对因变量有显著贡献(ΔR^2 = 0.034, ΔF = 5.07, p < 0.05, 标准化回归系数为 0.22, t = 2.25, p = 0.038), 同时流体智力基线水平(标准化回归系数为−0.36, t = 2.29, p = 0.04)和工作记忆训练提升量(标准化回归系数为 0.72, t = 4.34, p < 0.001)的回归效应也显著。其中交互项的回归效应显著表明流体智力基线水平较高, 工作记忆训练对流体智力改善的效果越大(见图 3)。流体智力基线水平、工作记忆训练提升量及两者的乘积影响了流体智力改善值。

表 1　基线智力水平(M)的调节效应分析

步骤	回归方程	R^2	R^2 的变化
第一步	Y=0.61X−0.35M	0.836	
第二步	Y=0.72X−0.36M+0.22XM	0.867	0.034*

注：*表示 p < 0.05, X 表示工作记忆训练提升量, M 表示流体智力基线水平, Y 表示流体智力改善值, 各变量系数为标准化回归系数。

4　讨论

本文主要目的是考察工作记忆训练能否提升流体智力水平, 以及流体智力基线水平是否调节了工作记忆训练的迁移效果。经过一个月的训练, 双任务工作记忆训练显著提升了训练组被试的流体智力水平, 工作记忆训练提升量越大, 个体流体智力水平的提高越多。同时还发现, 流体智力基线水平的个体差异影响到了工作记忆训练对流体智力水平迁移的效果。这些结果为进一步理解认知训练中的个体差异作用提供了重要的启示。

与积极控制组相比, 训练组在训练前后的流体

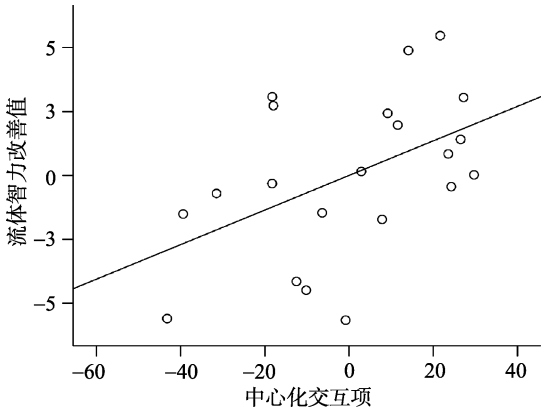


图 3 训练组被试流体智力基线水平和工作记忆训练提升量中心化交互项与流体智力改善值偏相关散点图。在控制了流体智力基线水平和工作记忆训练提升量两项内容后, 两者的交互项仍然显著预测了流体智力改善值(标准化回归系数为 0.22, p = 0.038)。

智力水平提升更大。这一结果与近期使用不同工作记忆训练任务、针对不同群体的研究结果相一致, 进一步证实通过工作记忆训练确实能够提升个体流体智力表现(彭君等, 2014; Dahlin et al., 2008; Holmes et al., 2010; Jaeggi et al., 2008, 2010; Klingberg et al., 2002, 2005; Li et al., 2008)。值得注意的是, 与以往研究一致(彭君等, 2014; 赵鑫等, 2011), 本研究发现工作记忆训练提升量越大其流体智力水平改善值也越高, 而且这种线性关系在控制了流体智力基线水平后仍然显著(见回归分析部分)。这一结果很好地支持了本研究的假设, 即流体智力的改善是由于工作记忆训练本身, 而非其他组间差异带来的干扰变量。因为在训练组和积极控制组中所进行的训练任务大不相同, 可能给两组被试在实验进行过程中带来不同的动机和心理预期(Boot et al., 2013)。也有研究者提出应该给对照组和训练组提供相同的训练任务, 但在对照组设置更低或不变的训练难度(Shipstead et al., 2012), 但是由于难度没有变化或难度太小没有挑战性使得对照组被试仍然可能与训练组出现不同的心理预期而影响到实验结果。不同于训练组和积极控制组之间的比较, 在训练组内的不同被试之间进行比较时, 由于实验处理是完全一样的, 此时不同被试工作记忆训练提升量的大小与迁移效应的高低存在正相关, 则能更好地排除上述心理变量的潜在影响从而支持工作记忆训练对流体智力有改善作用这一假设。

本实验成功观察到工作记忆训练对流体智力水平改善的迁移可能受到多个因素的影响。首先, 虽然工作记忆和流体智力测验这两个任务看似差异很大, 但两者存在一些相似的基本加工过程从而使得训练效应能够迁移到流体智力水平改善上。例如有研究者提出, 两者共有容量有限性这一特征, 这一特征既可以体现在工作记忆的广度上, 也可以体现在进行推理任务时需要保持的信息数量上(Halford, Cowan, & Andrews, 2007)。Carpenter, Just 和 Shell (1990)提出个体在瑞文智力测验中的差异确实可以体现他们对抽象关系判别的能力以及工作记忆中对多重目标控制的能力。本研究所使用的双任务 n-back 任务正好涉及多重执行加工过程, 包括抑制无关刺激、监控当前表现、同时操作两个任务、更新记忆中的信息表征等(Jaeggi et al., 2008; Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005)。因此, 被试的工作记忆容量经过训练后得到了提升, 使其在完成瑞文推理测验时能够更有效地保存信息以完成推理分析。另一种可能是因为工作记忆训练需要被试有效地分配注意, 从而提升了个体的控制性注意能力, 而个体的注意控制是进行推理等认知的基础(Gray, Chabris, & Braver, 2003; Halford et al., 2007; Kane et al., 2004), 因而工作记忆训练提升了被试的流体智力水平。

其次, Klingberg 与 Holmes 的一系列研究认为负载适应以及大量训练(至少 3 周或 8 个小时)是工作记忆训练效果能够有效迁移到其他任务表现的两个重要因素(Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009; Klingber et al., 2002, 2005)。在本文中负载是指个体所能达到的最大的工作记忆容量。因为工作记忆的神经系统具有一定的适应性, 当不断重复当前最大负载时, 原本需要努力才能达到的负载变成可以相对容易地达到。也就是说通过难度自适应的方式进行训练, 不断地更新最大负载从而最终提升了最大负载量, 表现出适应性。值得注意的是, 难度自适应作为一种训练方式, 是否独自影响到了训练迁移尚不清楚。有研究者对积极控制组也采用了难度自适应的方式进行训练, 结果并没有发现在流体智力上出现显著的提升(Jaeggi et al., 2014)。自适应训练对流体智力水平的提升, 可能非常依赖训练量(Jaeggi et al., 2008)。当大脑能够适应大量工作记忆训练, 同时表现出较大的训练成绩提升时, 如 n 的变化大于 2 时(Jaeggi et al., 2014), 则更容易表现出迁移效应。而本研究被试的平均工作记忆训练提升量为 2.51。总体来说, 对工作记忆容量负载的适应, 及工作记忆与流体智力测验任务具有相似的基本

加工过程, 是工作记忆训练能够迁移到流体智力水平的两个重要因素。

我们也发现个体流体智力基线水平影响了流体智力水平的改善。首先, 这种影响表现在流体智力基线水平较低者流体智力改善较大。需要指出的是, 虽然流体智力基线水平与流体智力改善程度之间呈负相关, 但实际上所有被试后测与基线相比流体智力水平都没有下降, 这种负相关只是说明流体智力基线水平较低者流体智力改善较大。其次, 尽管此前的研究没有发现基线智力水平对迁移的影响(Jaeggi et al., 2014), 但本研究发现流体智力基线水平还与个体工作记忆训练提升量相互作用影响流体智力的改善。具体来说, 通过分层回归分析发现, 两个因素的交互作用项也影响到了迁移效应, 即基线智力水平和工作记忆训练提升量之间的乘积越大, 智力改善值也越高。也就是说, 如果个体基线智力水平较高, 而且其工作记忆训练提升量也较高, 那么其智力改善值就越高。而流体智力水平的改善值同时受到流体智力基线水平、工作记忆训练提升量及两者乘积的影响。这一结果扩展了之前所发现的工作记忆训练成绩提升与迁移效应呈正相关的结果(彭君等, 2014; 赵鑫等, 2011), 表明基线智力水平调节训练对智力的迁移效应。这也与 Shipstead 等人的观点一致, 即认知能力具有较大改善空间的个体更能从认知或工作记忆训练中获益(Shipstead et al., 2012)。

这种行为水平的个体差异对迁移的调节效应可能受到大脑功能与结构的影响。例如最近的元分析发现智力个体差异与大脑结构差异相关系数约为 0.24 (Pietschnig, Penke, Wicherts, Zeiler, & Voracek, 2015), 而先前研究也发现基线的大脑功能联结强度(Kundu, Sutterer, Emrich, & Postle, 2013; Yin et al., 2014)与白质纤维结构完整性(Wolf et al., 2014)能够预测随后的训练和迁移效果。需要指出的是, 这些结果主要是来自对老年被试的研究, 未来的研究可以进一步考察儿童和青年被试基线脑结构与功能对迁移的影响, 深化我们对成熟、个体差异等因素作用于工作记忆训练迁移效果的调节机制的认识。此外, 以往有研究考察了多种个体心理特征差异对工作记忆训练迁移效应的影响。比如 Jaeggi 等人(2014)考察了认知需求、个体对智力可塑性的看法等因素对迁移效应的影响。结果发现认知需求对训练的迁移效应无显著影响, 而对智力是否可以改变的观念的分析发现, 持智力可以改变观念者比持智力不可改变观念者出现了更多的迁移效应。尽管如此, 个体差异变量非常多, 比如有研究者发现二语学习受到个体知觉能力、呈现方式特征等变量影响(Perrachione, Lee, Ha, & Wong, 2011), 因而在将来开展认知训练研究时, 应进一步考虑更多的个体差异变量对迁移效应的影响。这不仅对于拓展认知训练理论具有重要意义, 对于开发更具个性化的训练方案也具有重要意义。

本研究也存在一些不足, 有待未来研究改进和进一步验证本实验结果。首先, 本研究发现流体智力成绩经过训练后有所提升, 但本研究及目前大多数研究, 均采用单一的认知能力测试手段, 而事实上并没有一个任务是纯粹只涉及一种能力的。因此将来研究需要探索运用涉及多重任务的测试手段来考察个体潜在能力的变化。同时, 认知训练相关研究应强调真实生活情景中的应用性和普遍适用性, 未来的研究可以考虑将诸如阅读能力、学业成绩作为迁移目标进行考察。其次, 在训练组内被试之间的工作记忆训练提升量不同可能反映了个体之间的可提升空间不同, 但仍然存在训练组内不同被试之间的训练投入程度不同导致个体工作记忆训练提升量存在差异从而影响了流体智力改善个体的可能性。为了说明这种迁移效应是来自工作记忆训练本身, 一方面可以给对照组同样采用难度自适应的训练, 另一方面也可以通过实时、动态地监测所有被试的动机与参与度, 以尽可能排除其他混淆因素的影响。最后, 本实验虽然发现工作记忆容量与最终的流体智力水平相关, 但流体智力基线水平与工作记忆基线水平相关不显著, 一方面可能受到本研究实验被试同质性高的影响(如流体智力基线水平、工作记忆基线水平都在 2 个标准差以内), 另一方面也可能受到本研究被试量相对较小的影响。尽管本研究采用了与以往研究相当的被试量(综述见 Au et al., 2015), 未来的研究仍然应该尽可能提升每个组别的被试样本量, 以明确区分训练有效和无效被试的特征为个体化设计提供指导依据。

总之, 本研究发现认知训练能够有效提升大学生的工作记忆容量, 并证实训练效果能够迁移到流体智力表现上。更为重要的是, 本研究发现个体流体智力基线水平会影响到训练效果的迁移, 流体智力基线水平越高而且在工作记忆训练中的提升量越大, 则其智力水平提升越高。这一结果为设计个性化的认知训练方案提供了参考。

参 考 文 献

Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*, 366−377.

Baltes, P. B., Staudinger, U. M., & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: Theory and application to intellectual functioning. *Annual Review of Psychology, 50*, 471−507.

Boot, W. R., Simons, D. J., Stothart, C., & Stutts, C. (2013). The pervasive problem with placebos in psychology: Why active control groups are not sufficient to rule out placebo effects. *Perspectives on Psychological Science, 8*(4), 445−454.

Buitenweg, J. I. V., Murre, J. M. J., & Ridderinkhof, K. R. (2012). Brain training in progress: A review of trainability in healthy seniors. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 183.

Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2010). Improving intelligence: A literature review. *Swiss Medical Weekly, 140*(19-20), 266−272.

Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review, 97*, 404−431.

Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology, 54*(1), 1−22.

Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: Immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging, 23*(4), 720−730.

Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 309−331.

Erickson, K. I., Boot, W. R., Basak, C., Neider, M. B., Prakash, R. S., Voss, M. W., … Kramer, A. F. (2010). Striatal volume predicts level of video game skill acquisition. *Cerebral Cortex, 20*(11), 2522−2530.

Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience, 6*(3), 316−322.

Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: Science and ethics. *Nature Reviews Neuroscience, 5*(6), 471−482.

Halford, G. S., Cowan, N., & Andrews, G. (2007). Separating cognitive capacity from knowledge: A new hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(6), 236−242.

Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science, 12*(4), F9−F15.

Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology, 24*(6), 827−836.

Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., & Perring, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(19), 6829−6833.

Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*(25), 10081−10086.

Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Shah, P., & Jonides, J. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Memory & Cognition, 42*(3), 464−480.

Jaeggi, S. M., Studer-Luethi, B., Buschkuehl, M., Su, Y.-F., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2010). The relationship between n-back performance and matrix reasoning: Implications for training and transfer. *Intelligence, 38*, 625−635.

Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(2), 189−217.

Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., … Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD: A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 44*(2), 177−186.

Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 24*(6), 781−791.

Kundu, B., Sutterer, D. W., Emrich, S. M., & Postle, B. R. (2013). Strengthened effective connectivity underlies transfer of working memory training to tests of short-term memory and attention. *Journal of Neuroscience, 33*(20), 8705−8715.

Lee, Y. S., Lu, M. J., & Ko, H. P. (2007). Effects of skill training on working memory capacity. *Learning and Instruction, 17*, 336−344.

Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Röcke, C., Smith, J., & Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging, 23*(4), 731−742.

Nikolaidis, A., Voss, M. W., Lee, H., Vo, L. T., & Kramer, A. F. (2014). Parietal plasticity after training with a complex video game is associated with individual differences in improvements in an untrained working memory task. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 169.

Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping, 25*(1), 46−59.

Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S, … Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature, 465*(7299), 775−778.

Peng, J., Mo, L., Huang, P., Zhou, Y., Wang, J., & Ang, C. (2014). Improvements in children's fluid intelligence with working memory training. *Acta Psychologica Sinica, 46*(10), 1498−1508.

[彭君, 莫雷, 黄平, 周莹, 王靖, 昂晨. (2014). 工作记忆训练提升幼儿流体智力表现. *心理学报*, *46*(10), 1498−1508.]

Perrachione, T. K., Lee, J., Ha, L. Y. Y., & Wong, P. C. M. (2011). Learning a novel phonological contrast depends on interactions between individual differences and training paradigm design. *Journal of the Acoustical Society of America, 130*(1), 461−472.

Pietschnig, J., Penke, L., Wicherts, J. M., Zeiler, M., & Voracek, M. (2015). Meta-analysis of associations between human brain volume and intelligence differences: How

strong are they and what do they mean? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 57*, 411−432.
Rudebeck, S. R., Bor, D., Ormond, A., O'Reilly, J. X., & Lee, A. C. H. (2012). A potential spatial working memory training task to improve both episodic memory and fluid intelligence. *PLoS One, 7*(11), e50431.
Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin, 138*(4), 628−654.
Turley-Ames, K. J., & Whitfield, M. M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language, 49*, 446−468.
Wen, Z. L., Hau, K. T., & Chang, L. (2005). A comparison of moderator and mediator and their applications. *Acta Psychologica Sinica, 37*(2), 268−274.
[温忠麟, 侯杰泰, 张雷. (2005). 调节效应与中介效应的比较和应用. *心理学报, 37*(2), 268−274.]
Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory: A single-subject analysis. *Physiology & Behavior, 92*, 186−182.
Wolf, D., Fischer, F. U., Fesenbeckh, J., Yakushev, I., Lelieveld, I. M., Scheurich, A., … Fellgiebel, A. (2014). Structural integrity of the corpus callosum predicts long-term transfer of fluid intelligence-related training gains in normal aging. *Human Brain Mapping, 35*(1), 309−318.
Yin, S. F., Zhu, X. Y., Li, R., Niu, Y., Wang, B. X., Zheng, Z. W., … Li, J. (2014). Intervention-induced enhancement in intrinsic brain activity in healthy older adults. *Scientific Reports, 4*, 7309.
Zhang, H. C., & Wang, X. P. (1985). *Raven standard progressive matrices: Chinese city revision*. Beijing, China: Beijing Normal University Press.
[张厚粲, 王晓平. (1985). *瑞文标准推理测验手册(中国城市修订版)*. 北京: 北京师范大学出版社.]
Zhao, X., Wang, Y. X., Liu, D. W., & Zhou, R. L. (2010). Working memory updating training affect children intelligence. *Chinese Science Bulletin, 56*(17), 1345−1348.
[赵鑫, 王一雪, 刘丹玮, 周仁来. (2011). 工作记忆刷新训练对儿童流体智力的影响. *科学通报, 56*(17), 1345−1348.]
Zhao, X., & Zhou, R. L. (2010). Training on working memory: A valuable research field. *Advances in Psychological Science. 18*(5), 711−717.
[赵鑫, 周仁来. (2010). 工作记忆训练: 一个很有价值的研究方向. *心理科学进展, 18*(5), 711−717.]

The baseline fluid intelligence modulated the transfer effect from working memory to fluid intelligence

ZHU Zude[1]; DUAN Yixing[2]; WANG Suiping[2]

([1] *School of Linguistic Sciences and Arts, Jiangsu Normal University, Xuzhou* 221009, *China*)

([2] *School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou* 510631, *China*)

Abstract

While some previous studies have found significant transfer effect from working memory to fluid intelligence, other studies have failed. The discrepancy may due to individual difference. One type of individual differences is the working memory training improvement. It was found that, transfer effect was found only in subjects who showed significant training improvement. Another type of individual differences is the cognitive ability at baseline, such as baseline fluid intelligence. It remains unclear how such individual differences modulate transfer effect in working memory training. Specifically, the aim of the present study was to investigate how the individual fluid intelligence at baseline modulates the working memory transfer effect.

In total, 40 college students were recruited and randomly assigned into active control group (N = 19, 8 males/ 11 females) and training group (N = 21, 9 males /12 females). The training group was asked to complete a dual n-back task. The participants were asked to perform the training 25 minutes a day, 5 days per week in four weeks. The dual n-back task was computerized, in which participants were required to determine if the stimulus position and voice in the current trial were the same as that in the previous n-1 trial. The n was adaptively changed according to the participants' performances. Meanwhile, the active control group received a scientific knowledge reading training. To make sure the participants' engaged in the task, the reading material was different for each time. The training time setting in the active control group was the same as that in the training group. All participants were tested by the Raven's Standard Progressive Matrices (RSPM) before and after the training. In order to avoid the impact of repeated measures, the RSPM were divided into two parallel tests and were counterbalanced across groups and test sessions.

The training group showed significant improvement in the dual n-back task, with an average maximum n = 4.86 and mean improved n = 2.51 after 20 days training. In addition, the results have revealed three key findings. First, we found significant group by test session interaction. Specifically, while the RSPM scores were

comparable across test sessions in the active control group, the score of RSPM was significantly improved in the post-test than the baseline in the training group. Secondly, to reveal the potential interaction between baseline intelligence and training score improvement on the transfer effect, comparison of moderators was performed by using hierarchy regression. The results revealed that, intelligence improvement was positively correlated with working memory training improvement and negatively correlated with baseline intelligence performance. Additionally, the interaction term of training improvement and baseline intelligence performance positively correlated with intelligence gain. The interaction suggests that, a person can gain the best if he/she showed highest baseline intelligence performance and highest working memory training improvement.

In summary, the current study confirmed that working memory training can improve fluid intelligence. More importantly, the results demonstrated that individual difference, i.e. the baseline level of the fluid intelligence in the current project, has modulated the transfer effect from working memory training to fluid intelligence. The results thus suggested that, future studies should pay more attention on individual difference, to reveal the trainability or transfer gain variance across participants.

Key words working memory training; fluid intelligence; individual difference; transfer effect