

· 实验研究 ·

基于云服务技术的视知觉训练与传统综合训练对改善弱视患儿视力和立体视功能的疗效比较

汤玮玮 王潇潇 陶黎明

230601 合肥,安徽医科大学第二附属医院眼科(汤玮玮、陶黎明);230027 合肥,中国科技大学生命科学学院 视觉研究实验室(王潇潇)

通信作者:陶黎明,Email:lmtao9@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.05.009

【摘要】 背景 弱视是一种常见的空间视觉发育障碍,可引起单眼及双眼视功能缺陷,传统的治疗仅能改善单眼视力,关于双眼视功能立体视觉的训练研究仍然较少。目的 评价基于云服务技术的视知觉训练在弱视治疗中的作用,同时与传统的弱视训练方法进行比较,探讨治疗弱视的新方法。方法 采用随机对照临床研究设计,纳入 2013 年 7 月至 2014 年 3 月在安徽医科大学第二附属医院眼科就诊的弱视患儿 107 例 178 眼,按照随机数字表法将患儿随机分为视知觉训练组和传统综合训练组。视知觉训练组采用基于云服务技术的视知觉训练方法,在计算机终端登录该系统,患儿配戴矫正眼镜完成每日训练任务,30 d 为 1 个疗程。每个疗程结束后根据患儿视力及视功能情况以及云服务器中的训练反馈数据调整下一个疗程训练方案,共实施 5~6 个疗程,训练时遮盖优势眼。传统综合训练组按照同样的训练周期给予健眼遮盖和弱视眼精细目力训练。分别于训练后 1 个月、3 个月进行复查,比较 2 个组视力和立体视锐度的改善情况。结果 基于云服务技术的视知觉训练组患儿的视力改善总有效率明显高于传统综合训练组,差异有统计学意义($Z=6.368$, $P=0.012$)。视知觉训练组和传统综合训练组患儿训练后平均立体视锐度分别为(127 ± 53)"和(174 ± 67)",均较训练前的(273 ± 95)"和(311 ± 103)"明显改善,且视知觉训练组的立体视锐度变化幅度明显高于传统综合训练组,差异均有统计学意义($t=12.329, 9.557, 15.649$, 均 $P<0.05$)。不同程度弱视患儿训练后立体视锐度均较训练前明显提高,重度及中度弱视患儿的立体视锐度改善幅度大于轻度弱视患儿,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。屈光不正型弱视患儿训练后立体视锐度改善幅度明显高于屈光参差型弱视,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。结论 基于云服务技术的视知觉训练及传统健眼遮盖联合弱视眼精细训练均可改善弱视患儿的视力和立体视锐度,但基于云服务技术的视知觉训练方法能提高患儿治疗的依从性,适用于弱视患儿的临床治疗,尤其是对传统疗法依从性较差的患儿是一种较好的选择。

【关键词】 弱视/病理生理; 双眼视/生理; 视力/生理; 弱视/治疗; 儿童; 随机对照试验; 云服务技术; 视知觉训练

基金项目:国家自然科学基金项目(81261120562)

A comparative study on visual acuity and stereopsis outcomes between perceptual learning based on cloud services and conventional therapy for amblyopia

Tang Weiwei, Wang Xiaoxiao, Tao Liming

Department of Ophthalmology, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601, China (Tang WW, Tao LM); Laboratory of Vision Research, College of Life Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China (Wang XX)

Corresponding author: Tao Liming, Email: lmtao9@163.com

【Abstract】 **Background** Amblyopia is a developmental disorder of spatial vision that results in both monocular and binocular deficits. Conventional therapy for amblyopia which focuses on monocular training can improve visual acuity. However, how to improve the binocular function, especially stereopsis is rarely studied. **Objective** This study was to evaluate the outcome of perceptual learning based on cloud services of improving stereopsis and visual acuity for amblyopia. **Methods** A randomized-controlled clinical study was performed. One hundred and seven amblyopic patients (178 eyes) with the age of 5—18 years old were recruited in The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University from July 2013 to March 2014. The patients were randomized into the perceptual learning group and the conventional therapy group. A perceptual learning based on cloud services with computer under the best corrected visual acuity was carried out in the perceptual learning group with 30-day duration as a course for 5—6 cycles, and training feedback data was obtained after each cycle for the regulation of following treatment. The dominant eye was covered during the training process. In the conventional therapy group, a training regimen of health eye

covering that combined with eyesight training of amblyopic eye was performed. The stereopsis and visual acuity of the patients were estimated after training. Written informed consent was obtained from the parents or custodians of the children before entering the cohort. **Results** The total effective rate of visual acuity improvement is significantly higher in the perceptual learning group than that in the conventional therapy group after training ($Z = 6.368$, $P = 0.012$). The mean stereopsis value of the amblyopic eyes in the perceptual learning group and the conventional therapy group was $(127 \pm 53)''$ and $(174 \pm 67)''$ after training, which was significantly higher than $(273 \pm 95)''$ and $(311 \pm 103)''$ before training, respectively, and the increasing range of the mean stereopsis was considerably larger in the perceptual learning group than that in the conventional therapy group ($t = 12.329, 9.557, 15.649$; all at $P < 0.05$). In the perceptual learning group, the improving range of mean stereopsis was larger in the severe or moderate amblyopic eyes than that in the mild amblyopic eyes, and the improving range of mean stereopsis in ametropic amblyopia was larger than that in anisometric amblyopia (all at $P < 0.05$). **Conclusions** Both perceptual learning based on cloud services and conventional therapy can improve stereopsis and visual acuity in amblyopic eyes. However, perceptual learning based on cloud services can improve the treating compliance of children.

[Key words] Amblyopia/physiopathology; Vision, binocular/physiology; Visual acuity/physiology; Amblyopia/therapy; Children; Randomized controlled trials; Cloud services; Perceptual learning

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81261120562)

弱视是视觉发育期内由于单眼斜视、未矫正的屈光参差、高度屈光不正及形觉剥夺引起的最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)低于相应年龄的正常视力标准,或双眼视力相差 2 行及以上的视力较低眼^[1],是导致儿童视力下降的常见原因,也会影响部分双眼视功能^[2-9]。传统的弱视治疗方法包括精细目力训练、屈光矫正、阿托品滴眼液点眼治疗等,能改善弱视儿童的单眼视力,但长时间单眼遮盖会影响立体视觉的建立,且大部分儿童不能适应阿托品滴眼液点眼压抑健眼疗法。研究表明,屈光不正型弱视儿童经传统方法治愈后立体视锐度达到正常者仅占 21.21%^[10]。随着互联网技术的快速发展和普及,使得基于云服务技术的个性化的视知觉训练成为可能,治疗时仅需 1 台与互联网连接的计算机即可通过互联网从云端传输信息给弱视患儿。训练过程不受时间和空间的限制,同时患儿的训练计划可以通过分析训练过程中反馈的信息进行适时调整,从而实现个性化的弱视训练,但目前关于相关弱视训练效果的评价较少。本研究拟探讨基于云服务技术的视知觉训练对弱视患儿视力和立体视功能改善的方法及效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用前瞻性随机对照研究设计。收集 2013 年 7 月至 2014 年 3 月在安徽医科大学第二附属医院眼科就诊的弱视患儿 107 例 178 眼,其中双眼弱视者 71 例,单眼弱视者 36 眼;男 62 例,女 45 例;初诊年龄 5~13 岁,平均 (8.3 ± 4.1) 岁。纳入标准:符合中华医学学会眼科学分会斜弱视和小儿眼科学组 2010 年制定的儿童弱视诊断指南中弱视的诊断标准^[1],弱视类型

为屈光不正型和屈光参差型,患儿注视性质均为中心注视。排除标准:(1)患有其他眼部器质性病变者。(2)患儿理解力、认知能力较差者。(3)不能配合要求完成训练、依从性差不能完成 6 个月的随访者。所有患儿均用睫状肌麻痹剂点眼扩瞳,然后进行检影验光,均接受视力及立体视觉、裂隙灯显微镜、眼底及眼球运动检查。按弱视程度分为^[11]:轻度弱视(矫正视力为 0.8~0.6)、中度弱视(矫正视力为 0.5~0.2)和重度弱视(矫正视力 ≤ 0.1)。采用随机数字表法将患儿随机分为传统综合训练组和视知觉训练组。传统综合训练组 55 例,其中男 31 例,女 24 例;视知觉训练组 52 例,其中男 34 例,女 18 例。所有患儿在入组前均由一位经验丰富的验光师扩瞳后行检影验光并配镜,戴镜 3 个月以上^[12],让患儿适应戴镜,以配合后期的弱视治疗。所有患儿及其监护人均被告知研究过程并签署知情同意书。本研究经安徽医科大学第二附属医院伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 传统综合训练法 遮盖方法根据美国小儿眼病研究协作组(Pediatric Eye Disease Investigator Group, PEDIG)给出的治疗标准^[13]:轻中度弱视患儿每日遮盖健眼 2 h,重度弱视患儿每日遮盖健眼 6 h,同时弱视眼进行精细目力训练,如穿针、穿小珠子、描图等,共训练 3 个月。

1.2.2 视知觉训练法 采用滤波和噪音技术进行视知觉学习治疗,同时添加游标锐度的任务内容。依据核心算法中空间频率和对比度的分级标准,对指定的图形(各种自然和卡通图形)进行滤波。滤波后的图形还可以考虑添加白噪音,白噪音的难度也可以通过滤波的方式进一步调整分级。参照文献[14-20]的方

法,训练内容包括正弦光栅方向识别、添加白噪音的正弦光栅检测、添加白噪音的正弦光栅方向识别、游标锐度检测、特定噪音条件下的游标锐度检测、滤波后的图形轮廓识别、滤波后添加白噪音的图形轮廓检测和滤波后添加白噪音的图形轮廓识别,各项内容的难度逐步增加(图 1)。将上述多个指标以排序或概率的形式提供患儿行为分析报告、状态分析报告和训练预测报告,以便检测患儿对该系统的使用情况,同时分析患儿近期各项视功能变化情况。研究人员先培训患儿或监护人,确保其能正确使用该系统。在计算机终端登录该系统,患儿完成每日训练任务,以 30 d 为 1 个疗程。每个疗程结束后根据患儿视力及视功能情况以及云服务器中的训练反馈数据调整下一个疗程训练方案,疗程数为 5~6 个。训练时遮盖优势眼。

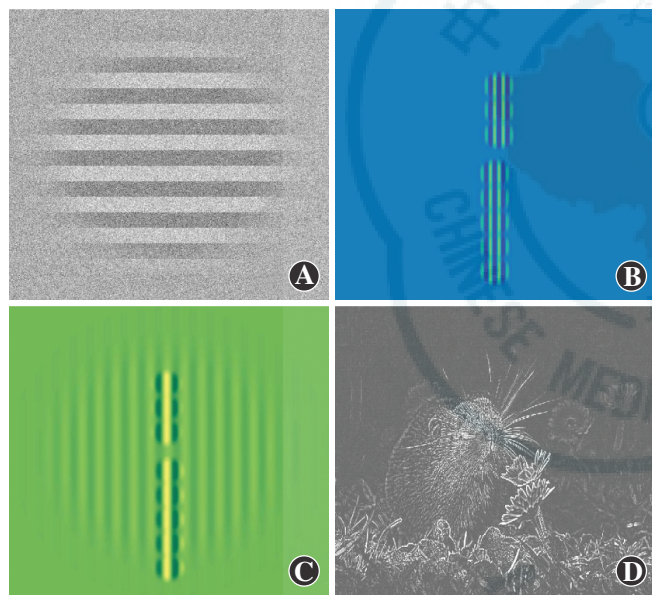


图 1 视知觉训练项目示意图 A:添加白噪音的光栅方向识别 B:游标锐度检测 C:特定噪音条件下的游标锐度检测 D:高频滤波后的对比度检测

1.2.3 观察指标 患儿首诊时检查并记录 BCVA 和屈光矫正后立体视锐度。检查时检查人员采用单盲法,以避免主观因素的影响。分别于训练后 1 个月和 3 个月进行复查,复查时用盐酸环喷托酯滴眼液点眼

进行扩瞳后检影验光,并配镜。

采用标准对数视力表[YZB/苏(常)0111-2012]检测 BCVA,采用 Titmus 立体图(Vision Assessment Corporation, Illinois USA 60007)测试立体视锐度。检查时选择光线合适的环境,患儿配戴偏振光眼镜后直视检查图,检查距离为 40 cm。首先用定性图示教,不能完成定性图者记录为立体视盲,完成者依次检查 1~10 号圆圈定量立体图,视差分别为 400"、200"、160"、100"、63"、50"、40"、32"、25"和 20";通过定性图检查而未通过 400"立体图检查者记录为 3 000",依此类推。以立体视锐度 $\leq 40''$ 为正常立体视觉标准。参照 1996 年中华医学会全国儿童弱视斜视防治学组制定的弱视疗效评价标准^[21]:视力退步、保持不变或仅提高 1 行为无效;视力提高 2 行或 2 行以上为进步;矫正视力 >0.9 为基本治愈。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计学软件进行统计分析。本研究中测量指标的计量资料经 W 检验符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示;本研究中检测指标的计数资料用频数和百分数表示。采用完全随机分组方法,视知觉训练组与传统综合训练组间治疗前基线特征的例数分布和眼数分布差异比较均采用 χ^2 检验;2 个组间治疗的有效率差异比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,总有效率为进步率与基本治愈率之和。视知觉训练组不同程度弱视眼训练前后的视力和立体视锐度或不同类型弱视眼间训练前后的视力和立体视锐度的总体比较均采用重复测量两因素方差分析,多重比较采用 LSD-t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

视知觉训练组中 4 例患儿中途退出,传统综合训练组中 3 例患儿退出,最终共 100 例患儿纳入统计。2 个组间患儿性别和年龄分布的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$);2 个组间不同弱视程度及弱视类型的眼数分布比较,差异均无统计学意义($\chi^2 = 0.604$, $P = 1.008$; $\chi^2 = 0.227$, $P = 0.634$)(表 1)。

表 1 术前 2 个组患儿基线特征比较

组别	例数/眼数	年龄(例)			性别(例)		弱视程度(眼数)			弱视类型(眼数)	
		5-7 岁	8-12 岁	13-18 岁	男	女	轻度	中度	重度	屈光不正型	屈光参差型
视知觉训练组	48/78	27	14	7	31	17	31	34	13	33	15
传统综合训练组	52/88	25	18	9	29	23	36	42	10	38	14
χ^2		0.668			0.080		0.604			0.227	
P		0.716			0.369		1.008			0.634	

(χ^2 检验)

2.1 各组弱视治疗疗效比较

治疗 3 个月后视知觉训练组基本治愈者 31 例, 进步者 15 例, 总有效率为 95.83%。传统综合训练组基本治愈者 20 例, 进步者 21 例, 总有效率为 78.85%, 2 个组间总有效率比较差异有统计学意义 ($Z=6.368, P=0.012$) (表 2)。

表 2 治疗前后 2 个组疗效比较 (%)

组别	例数	基本治愈率	进步率	无效率
视知觉训练组	48	64.58	31.25	4.17
传统综合训练组	52	38.46	40.38	21.15
Z			6.368	
P			0.012	

注: (Kruskal-Wallis H 检验)

2.2 弱视治疗前后立体视锐度比较

治疗前视知觉训练组和传统综合训练组弱视患儿立体视锐度的差异无统计学意义 ($t=1.612, P>0.05$), 治疗后 3 个月 2 个组患儿立体视锐度较治疗前均有改善, 差异均有统计学意义 ($t=12.329, 9.557$, 均 $P<0.05$), 视知觉训练组治疗眼立体视锐度明显好于传统综合训练组, 差异有统计学意义 ($t=15.649, P<0.05$)。视知觉训练组和传统综合训练组立体视达到正常者分别为 8 例和 4 例 (表 3)。视力提升幅度与立体视锐度提升幅度间无明显相关性 ($P>0.05$) (图 2)。

表 3 治疗前后 2 个组患儿立体视锐度比较 ($\bar{x}\pm s, "$)

组别	例数	立体视锐度	
		训练前	训练后
视知觉训练组	48	273±95	127±53 ^{ab}
传统综合训练组	52	311±103	174±67 ^b

注: $F_{\text{分组}}=153.14, P=0.01; F_{\text{时间}}=251.39, P=0.000; F_{\text{交互作用}}=34.63, P=0.002$ 。与各自的传统综合训练组比较, ^a $P<0.05$; 与各自组内训练前比较, ^b $P<0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD- t 检验)

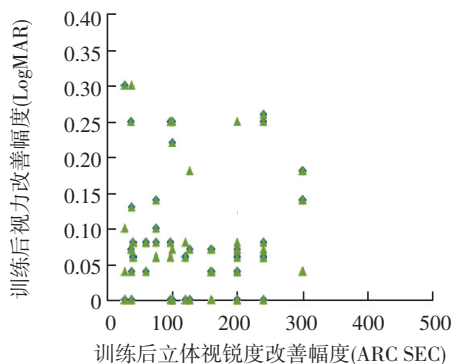


图 2 视知觉训练组治疗前后立体视锐度改善幅度与视力改善幅度散点图 ($n=48$)

2.3 视知觉训练组不同程度、不同类型弱视患儿治疗前后立体视锐度比较

轻度、中度和重度弱视患儿治疗 3 个月后立体视锐度均明显提高, 差异均有统计学意义 ($t=5.549, 8.177, 6.247$, 均 $P<0.05$); 训练后重度及中度弱视患儿的立体视锐度改善幅度大于轻度弱视患儿, 差异均有统计学意义 ($t=4.417, 6.128$, 均 $P<0.05$) (表 4)。屈光不正型弱视患儿训练后立体视锐度明显高于训练前, 差异有统计学意义 ($t=13.541, P<0.01$), 屈光参差型弱视患儿训练后立体视锐度高于训练前, 差异有统计学意义 ($t=6.980, P<0.05$), 且屈光不正型弱视患儿训练后立体视锐度改善幅度明显高于屈光参差型弱视患儿, 差异有统计学意义 ($t=10.144, P<0.05$) (表 5)。

表 4 不同程度弱视患儿立体视训练前后的立体视锐度变化 ($\bar{x}\pm s, "$)

弱视程度	例数	立体视锐度	
		训练前	训练后
轻度弱视	31	185±70	107±51 ^a
中度弱视	34	341±95	168±63 ^{ab}
重度弱视	13	651±124	202±107 ^{ab}

注: $F_{\text{分组}}=115.570, P=0.007; F_{\text{时间}}=76.980, P=0.005; F_{\text{交互作用}}=29.020, P=0.001$ 。与各自组内训练前比较, ^a $P<0.05$; 与训练后轻度弱视患儿比较, ^b $P<0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD- t 检验)

表 5 不同类型弱视患儿立体视训练前后的立体视锐度变化 ($\bar{x}\pm s, "$)

弱视类型	例数	立体视锐度	
		训练前	训练后
屈光不正型	33	256±104	101±63 ^{ab}
屈光参差型	15	338±161	152±117 ^a

注: $F_{\text{分组}}=114.070, P=0.002; F_{\text{时间}}=171.000, P=0.000; F_{\text{交互作用}}=69.700, P=0.003$ 。与各自组内训练前比较, ^a $P<0.05$; 与训练后屈光参差型弱视患儿比较, ^b $P<0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD- t 检验)

3 讨论

弱视可影响患儿的视力、空间对比敏感度、游标视敏度、空间失真、异常空间交互、受损的轮廓检测等, 同时也可导致双眼视功能异常, 如立体视锐度的下降^[22]。弱视治疗时间较长, 故患儿的依从性及复发率是治疗的关键。一般认为早发现、早治疗是成功治疗弱视的关键。遮盖疗法和/或压抑疗法等综合疗法联合配戴框架眼镜是主流的治疗方法, 然而遮盖疗法可能会让弱视患儿产生自卑心理, 同时眼贴也有诱发皮肤不适的可能, 最终导致依从性欠佳^[23]。

立体视觉是大脑视觉中枢感知物体在三维空间

X、Y、Z 轴上的能力,是双眼视功能的最高级形式。立体视觉包括同时视、融合视、立体视三级视功能,是后天获得的视觉功能,参与日常生活和工作的各个方面。立体视觉形成的过程涉及到双眼功能的融合,屈光参差型弱视患儿可因单眼视网膜影像变模糊而使立体视觉受损^[24]。弱视是影响立体视觉发育的重要因素之一,弱视患儿立体视觉的形成与双眼视力差异以及视力水平密切相关,双眼视力差小、视力好者一般立体视觉形成较好。值得注意的是,部分斜视性弱视患儿虽双眼视力正常,但却无立体视功能^[25]。单眼弱视患儿双眼视力不平衡,易引起立体视锐度的损害。屈光不正型弱视患者治愈后仅 21.21% 立体视觉达到正常^[10]。对屈光不正型弱视患儿进行双眼视觉训练,提高其立体视觉成为今后临床工作的重点。临床工作中也发现,通过单眼视力训练来提高双眼视功能的最终效果不佳^[26-27],提示弱视治疗中双眼视功能的恢复和视力的提高可能需要不同的训练项目。

研究表明,成年弱视患者单眼遮盖 500 h 与知觉训练 20 h 具有相似的治疗效果^[28]。本研究中发现,2 种治疗方法花费的时间差异无统计学意义,可能与本研究设计的训练时间短有关。本研究中还显示,视知觉训练组和传统综合训练组治疗后不同程度弱视患儿的视力提高程度接近,但重度及中度弱视患儿的训练效果优于轻度弱视患儿。然而,Zhang 等^[29]的研究显示,年龄较大的重度弱视患儿训练后效果较差。目前各年龄段的不同程度弱视患儿的疗效比较还需要进一步研究。

本研究结果显示,视知觉训练和传统综合训练对不同类型弱视患儿的视力及立体视的影响不同。与传统训练方法相比,基于云服务技术的视知觉训练对于屈光不正型及屈光参差型弱视均更为有效。McKee 等^[30]认为不同类型弱视患儿的双眼视觉功能存在很大差别,双眼视功能的差异影响弱视的疗效,通过不同的训练任务均可改善视功能。在屈光参差型弱视患儿中,屈光度高的眼视网膜成像较模糊,视网膜感受细胞接受光线刺激减少,从而使传入外侧膝状体、上丘脑及视皮层的神经冲动也随之减少,视皮层中感受双眼视差信息的双眼性神经细胞刺激减少,其立体视锐度也会相应下降^[31]。Hess 等^[32]采用靠近相干性阈值的离眼运动检测训练方法对斜视性弱视进行训练,发现患儿立体视锐度和视力均明显提高,而本研究的结果显示,屈光不正型弱视患儿训练后立体视的恢复程度较屈光参差型弱视患儿更明显,可能是因为屈光不正型弱视患儿双眼屈光度相差不大,虽双眼视网膜影像在

一定范围内呈对称性模糊,但传入视觉中枢的神经冲动仍等量,能刺激双神经元而产生立体视觉,故对立体视觉的影响较小^[24]。另外,屈光不正型弱视患儿经训练后视力提高,也会对立体视的恢复产生影响。视皮质主要位于枕叶皮质内侧距状裂上下缘的 Brodmann 17 区以及周围的 18 区、19 区。17 区称为纹状区,又称 V1 区,V1 区和 V2 区中 80% 的细胞为双眼细胞^[33]。弱视患儿大脑内双眼细胞的丧失程度与立体视的恢复有一定的关系。

本研究结果显示,不同程度弱视患儿视知觉训练和传统综合训练前后立体视锐度均明显改善,重度及中度弱视患儿的立体视改善幅度均比轻度弱视患儿明显,与 Xi 等^[34]的研究结论相同,可能与重度弱视患儿的提升空间更大,训练后改善幅度更明显有关。

此外,本研究中接受训练后达到正常的 12 例患儿年龄平均为(14.2±2.6)岁,患儿能良好配合治疗和随访,说明依从性是影响弱视疗效的重要因素^[35]。本研究中将视力训练与立体视训练进行组合,但视力提高幅度与立体视锐度提升幅度之间无明显相关性,与其他相关研究结果吻合^[36-37]。Xi 等^[34]对 11 例屈光参差型或屈光不正型弱视患儿行视知觉训练,也发现视力与立体视觉均明显改善,但两者间无明显相关性,认为将视力训练与立体视训练进行多种组合进行对比可能更有意义,未来的立体视训练应考虑双眼的抑制作用在立体视觉中的影响。

传统的观点认为,大龄儿童视皮层发育趋于稳定,故弱视治疗疗效较差,但本研究中发现基于云服务技术的视知觉训练应该更适合于大龄儿童。首先,对于大龄儿童来说,传统训练缺少吸引力,患儿难以长期坚持,而基于云服务技术的视知觉训练能与患儿进行交流,患儿可能更感兴趣;其次,基于云服务技术的视知觉训练过程中能实时监控患儿训练情况,同时根据患儿训练时的反馈信息及时调整训练难度,提高依从性,不受时间和空间的限制。

综上所述,基于云服务技术的视知觉训练或遮盖等综合训练可改善弱视患儿的视力和立体视锐度,但视力提升幅度与立体视锐度改变之间并无明确的相关性。对传统综合疗法依从性不高的弱视患儿,基于云服务技术的视知觉训练是较好的选择。

参考文献

- [1] 赵堪兴,麦光焕,牛兰俊,等.弱视诊断专家共识(2011年)[J].中华眼科杂志,2011,47(8):768. DOI: 10.3760/ema.j.issn.0412-4081.2011.08.027.
- [2] Levi DM, Harwerth RS, Manny RE. Suprathreshold spatial frequency

- detection and binocular interaction in strabismic and anisometric amblyopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1979, 18(7): 714-725.
- [3] Levi DM, Harwerth RS, Smith EL. Binocular interactions in normal and anomalous binocular vision[J]. *Doc Ophthalmol*, 1980, 49(2): 303-324.
- [4] Harrad RA, Hess RF. Binocular integration of contrast information in amblyopia[J]. *Vision Res*, 1992, 32(11): 2135-2150.
- [5] Baker DH, Meese TS, Mansouri B, et al. Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2007, 48(11): 5332-5338. DOI:10.1167/iov.07-0194.
- [6] Huang CB, Zhou J, Lu ZL, et al. Deficient binocular combination reveals mechanisms of anisometric amblyopia: signal attenuation and interocular inhibition[J/OL]. *J Vis*, 2011, 11(6): 466 [2015-04-06]. <http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2121238>. DOI: 10.1167/11.6.4.
- [7] Cooper J, Feldman J. Random-dot-stereogram performance by strabismic, amblyopic, and ocular-pathology patients in an operant-discrimination task[J]. *Am J Optom Physiol Opt*, 1978, 55(9): 599-609.
- [8] Wood IC, Fox JA, Stephenson MG. Contrast threshold of random dot stereograms in anisometric amblyopia: a clinical investigation[J]. *Br J Ophthalmol*, 1978, 62(1): 34-38.
- [9] Walraven J, Janzen P. TNO stereopsis test as an aid to the prevention of amblyopia[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1993, 13(4): 350-356.
- [10] 付晶, 成娟娟, 卢炜. 屈光不正性弱视和正常儿童立体视觉的临床观察[J]. *眼科*, 2004, 13(5): 280-283.
Fu J, Cheng JJ, Lu W. A clinical observation on stereoacuity in ametropic amblyopic and normal children[J]. *Ophthalmol CHN*, 2004, 13(5): 280-283.
- [11] 赵堪兴. 弱视[M]//葛坚, 赵家良, 崔浩. 眼科学. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 400-401.
- [12] Chen PL, Chen JT, Tai MC, et al. Anisometric amblyopia treated with spectacle correction alone; possible factors predicting success and time to start patching[J]. *Am J Ophthalmol*, 2007, 143(1): 54-60. DOI: 10.1016/j.ajo.2006.09.027.
- [13] Chen PL, Chen JT, Fu JJ, et al. A pilot study of anisometric amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2008, 28(5): 422-428. DOI:10.1111/j.1475-1313.2008.00588.x.
- [14] Hua T, Bao P, Huang CB, et al. Perceptual learning improves contrast sensitivity of V1 neurons in cats[J]. *Curr Biol*, 2010, 20(10): 887-894. DOI:10.1016/j.cub.2010.03.066.
- [15] Hou F, Huang CB, Liang J, et al. Contrast gain-control in stereo depth and cyclopean contrast perception[J/OL]. *J Vis*, 2013, 13(8): 134 [2015-05-26]. <http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2193991>. DOI:10.1167/13.8.3.
- [16] Zhou J, Liu R, Zhou Y, et al. Binocular combination of second-order stimuli[J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e84632 [2015-05-23]. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0084632>. DOI:10.1371/journal.pone.0084632.
- [17] Liu R, Zhou J, Zhao H, et al. Immature visual neural system in children reflected by contrast sensitivity with adaptive optics correction[J/OL]. *Sci Rep*, 2014, 4(8): 4687 [2015-05-20]. <http://www.nature.com/articles/srep04687>. DOI:10.1038/srep04687.
- [18] Gao Y, Reynaud A, Tang Y, et al. The amblyopic deficit for 2nd order processing: Generality and laterality[J]. *Vision Res*, 2014, 31: 111-121. DOI:10.1016/j.visres.2014.10.020.
- [19] Tang Y, Liu C, Liu Z, et al. Processing deficits of motion of contrast-modulated gratings in anisometric amblyopia[J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9(11): e113400 [2015-04-23]. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0113400>. DOI:10.1371/journal.pone.0113400.
- [20] Zhou J, Li L, Zhang P, et al. Tilt after-effect from high spatial-frequency patterns in the amblyopic eye of adults with anisometric amblyopia[J/OL]. *Sci Rep*, 2015, 5: 8728 [2016-05-22]. <http://www.nature.com/articles/srep08728>. DOI:10.1038/sr08728.
- [21] 中华眼科学会全国儿童斜视弱视防治学组. 弱视的定义、分类及疗效评价标准[J]. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 1996, 4(3): 97.
- National Institute of the Department of Ophthalmology, National Children's strabismus and amblyopia prevention and treatment group. The definition, classification and curative effect evaluation criteria of amblyopia[J]. *Chin J Strabismus Pediatric Ophthalmol*, 1996, 4(3): 97.
- [22] Polat U, Ma-Naim T, Spierer A. Treatment of children with amblyopia by perceptual learning[J]. *Vision Res*, 2009, 49(21): 2599-2603. DOI:10.1016/j.visres.2009.07.008.
- [23] Webber AL, Wood JM, Gole GA, et al. Effect of amblyopia on self-esteem in children[J]. *Optom Vis Sci*, 2008, 85(11): 1074-1081. DOI:10.1097/OPX.0b013e31818b9911.
- [24] 赵冰莹, 陶黎明. 弱视患儿治疗前后立体视觉及 P-VEP 的研究[J]. *国际眼科杂志*, 2012, 12(12): 2302-2305.
Zhao BY, Tao LM. Research of stereopsis and P-VEP before and after the treatment of amblyopia in children[J]. *Int J Ophthalmol*, 2012, 12(12): 2302-2305.
- [25] Levi DM, Knill DC, Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: a mini-review[J]. *Vision Res*, 2015, 114: 17-30. DOI:10.1016/j.visres.2015.01.002.
- [26] Scheiman MM, Hertle RW, Beck RW, et al. Randomized trial of treatment of amblyopia in children aged 7 to 17 years[J]. *Arch Ophthalmol*, 2005, 123(4): 437-447. DOI:10.1001/archoph.123.4.437.
- [27] Wallace DK, Lazar EL, Melia M, et al. Stereoacuity in children with anisometric amblyopia[J]. *J AAPOS*, 2011, 15(5): 455-461. DOI: 10.1016/j.jaapos.2011.06.007.
- [28] Levi DM, Li RW. Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: a mini-review[J]. *Vision Res*, 2009, 49(21): 2535-2549. DOI:10.1016/j.visres.2009.02.010.
- [29] Zhang Y, Huang L, Cao C, et al. A retrospective study of treatment efficacy of 65 children with ametropic amblyopia[J]. *Eye Sci*, 2012, 27(2): 85-88. DOI:10.3969/j.issn.1000-4432.2012.02.007.
- [30] McKee SP, Levi DM, Movshon JA. The pattern of visual deficits in amblyopia[J]. *J Vis*, 2003, 3(5): 380-405. DOI:10.1167/3.5.5.
- [31] 罗瑜琳, 陶利娟, 杨俊芳, 等. 不同类型弱视儿童立体视觉状况的临床观察[J]. *国际眼科杂志*, 2014, 14(3): 566-568. DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2014.03.55.
- Luo YL, Tao LJ, Yang JF, et al. Clinical research on stereoscopic vision in different types of amblyopic children[J]. *Int J Ophthalmol*, 2014, 14(3): 566-568. DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2014.03.55.
- [32] Hess RF, Mansouri B, Thompson B. A new binocular approach to the treatment of amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2010, 28(6): 793-802. DOI:10.3233/RNN-2010-0550.
- [33] 成娟娟, 卢炜. 屈光不正性弱视治愈前后立体视觉的临床初步观察[J]. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 2008, 16(1): 5-6.
Cheng JJ, Lu Wei. Stereopsis of ametropic amblyopia before and after orthoptic treatment[J]. *Chin J Strabismus Pediatric Ophthalmol*, 2008, 16(1): 5-6.
- [34] Xi J, Jia WL, Feng LX, et al. Perceptual learning improves stereoacuity in amblyopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014, 55(4): 2384-2391. DOI:10.1167/iov.13-12627.
- [35] Ding J, Levi DM. Recovery of stereopsis through perceptual learning in human adults with abnormal binocular vision[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2011, 108(37): 733-741. DOI:10.1073/pnas.1105183108.
- [36] Hess RF, Pointer JS. Differences in the neural basis of human amblyopia: the distribution of the anomaly across the visual field[J]. *Vision Res*, 1985, 25(11): 1577-1594.
- [37] Astle AT, McGraw PV, Webb BS. Recovery of stereo acuity in adults with amblyopia[J/OL]. *BMJ Case Rep*, 2011 [2015-05-22]. <http://www.asereports.bmj.com/content/2011/bcr.07.2010.3143.long>. DOI:10.1136/bcr.07.2010.3143.

(收稿日期:2015-06-02 修回日期:2016-03-26)

(本文编辑:尹卫靖 杜娟)