

# 触觉图形外观属性对其辨别影响的实验研究

徐娟, 张琳

北京联合大学特殊教育学院, 北京

收稿日期: 2022年7月20日; 录用日期: 2022年9月19日; 发布日期: 2022年9月27日

## 摘要

本研究设计了3个系列实验, 以20名盲人大学生和20名健全大学生为研究被试, 分别考察图形形状、图形肌理、图形大小等三个触觉图形外观属性因素对两组大学生触觉图形辨别的正确率和反应时的影响。研究发现: 1) 相同的实验条件下, 盲人大学生对触觉图形辨别的反应时、正确率显著优于健全大学生, 即盲人大学生对触觉图形的辨别可以做到更快更准。2) 不同图形的辨别难度存在差异, 对盲生而言平行四边形、梯形、心形的辨识难度较大, 对健全生而言, 长方形、正方形、平行四边形、梯形之间容易混淆, 错误率高。3) 不同图形肌理的触觉图形的辨识难度存在显著差异, 不论对盲生或健全生, 实心图的辨别反应时最短, 其次是空心图, 最后是纹理图。4) 不同大小的触觉图形的辨识难度也存在显著差异, 大图的辨别反应时最短, 其次是小图, 最后是中图。

## 关键词

触觉图形, 盲人大学生, 图形辨别

# Experimental Study on the Influence of Appearance Attributes of Tactile Graphics on Their Discrimination

Juan Xu, Lin Zhang

College of Special Education, Beijing Union University, Beijing

Received: Jul. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Three series of experiments were designed in this study to investigate the influence of figure shape, figure texture and figure size on the correct rate and reaction time of tactile figure discrimination. Twenty blind college students and 20 healthy college students were selected as sub-

jects. The results show that: 1) Under the same experimental conditions, the correct rate and reaction time of blind college students is significantly better than that of healthy college students, blind college students can identify tactile patterns faster and more accurately. 2) There are differences in the difficulty of distinguishing different figures. For blind students, parallelogram, trapezoid and heart shape are more difficult to distinguish. For healthy students, rectangle, square, parallelogram and trapezoid are easy to confuse and have a high error rate. 3) There are significant differences in the recognition difficulty of tactile graphics with different texture. Whether for blind students or healthy students, the recognition response time of solid images is the shortest, followed by hollow images, and finally texture images. 4) There are also significant differences in the recognition difficulty of tactile graphics of different sizes. The recognition reaction time of large graphics is the shortest, followed by small graphics, and finally the middle graphics.

## Keywords

Tactile Graphics, Blind College Students, Graphics Discrimination

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 问题提出

图形信息, 如插图、图形和图表, 是除文本外传达知识的重要补充。大多数图形信息的传递都是通过视觉感官来进行的。但是对于视力残疾人而言, 要想了解图形信息, 只能通过触觉通道, 同时需要把视觉图形转换成触觉图形。俄国著名生理学家谢切诺夫认为原则上用触觉感知物体与视觉没有什么差别, 眼睛观察物体时所做的运动与手所做的运动是相似的。通过触觉, 虽然人们无法获取图形的颜色、明暗、远近等信息, 但依然可以感知图形的形状、大小、角度、纹理等多重信息。触觉图形在视力残疾人的生活和学习中有着非常重要的作用。近年来, 很多学者尝试将触觉图形运用到盲生的教育、娱乐以及导航等多个领域(Smith and Smothers, 2012; Grussenmeyer and Folmer, 2017; Ducasse et al., 2018)。张显, 张琳(2019)认为触觉图形可以帮助盲生理解仅靠文字难以表述的学习内容, 还可以帮助盲生培养其观察、联系、逻辑推理能力, 是发展盲生空间观念的重要工具。要想最大限度发挥触觉图形作用, 需要深入了解影响盲图辨识的相关因素。本研究从触觉图形的外观属性的相关特征中选择了图形形状、图形肌理、图形大小三个因素作为自变量, 并选取了两组大学生(全盲学生和健全学生)作为研究对象开展系列实验研究, 探索触觉图形辨别的影响因素, 为触觉图形的设计提供所要遵循的原则。

## 2. 实验 1 图形形状对触觉图形辨别的影响

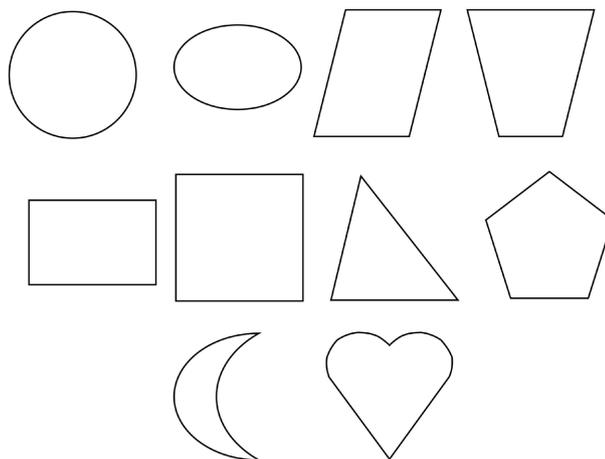
### 2.1. 研究方法

本研究采用两因素混合实验设计, 自变量 1 是触觉图形的形状, 其为被试内因素, 包括圆形、椭圆形等 10 种基本图形; 自变量 2 是被试类型, 为被试间因素, 分为全盲学生和健全学生两组。其中全盲学生和健全学生各为 20 人, 男女生各半, 均为北京联合大学特殊教育学院大学随机抽取的本科一年级学生, 年龄为 19~21 岁之间。

### 2.2. 研究工具

利用立体图形打印设备, 在热敏纸上打出 10 张不同形状的触觉图。10 种形状分别是: 圆形、椭圆

形、平行四边形、梯形、长方形、正方形、三角形、五边形、月牙形、心形, 涵盖常见的基本几何图形。10种图形的大小均内切于  $3\text{ CM} \times 3\text{ CM}$  的正方形。具体的形状、大小见图 1。图 2 为打印出的触觉图的照片。



**Figure 1.** Figures used in experiment 1

**图 1.** 实验 1 所用的全部图形



**Figure 2.** Example of tactile graphics used in experiment 1

**图 2.** 实验 1 所用的图形材料照片示例

### 2.3. 实验程序

在一个安静的环境中, 主试与被试面对面就坐。为排除视觉影响, 所有被试实验中均佩戴眼罩。主试将 10 张触觉图卡依此发给被试, 要求被试通过触觉摸出图卡上的图形是什么形状后第一时间口头报告出来。如果被试可以准确的说出图形的形状, 在记录表上则在纸上记录画“√”, 如果回答错误或回答“不知道”则画“×”, 并用秒表记录被试从开始摸图到报告出图形形状所用的时间, 一并填写到记录表中。逐一测试 20 名盲生和 20 名健全人。

### 2.4. 实验结果

将每名被试对触觉图形辨别的正确与否和辨别时间输入 SPSS 统计软件。经统计, 两组被试在不同图形的辨别正确率和反应时的描述性统计结果见表 1 和表 2。在每种图形下, 对两组被试的正确率和反应时进行独立样本 T 检验, 检验结果也可参见表 1 和表 2。

从表 1 可见, 盲生的辨别正确率显著高于健全生, 特别是在梯形、长方形和平行四边形这几种图形的判断上。而三角形的辨别最为简单, 无论是盲生还是健全生正确率均为 100%。心形是唯一的一种健全

生的辨别正确率高于盲生的图形, 但并未达到统计显著。

**Table 1.** Comparison of the discrimination accuracy of two groups of subjects on tactile graphics of different shapes  
**表 1.** 两组被试对不同形状触觉图形的辨别正确率比较

	圆形	椭圆形	平行 四边形	梯形	长方形	正方形	三角形	五边形	月牙形	心形	平均 正确率
盲生	100%	100%	75%	100%	95%	90%	100%	95%	100%	85%	94%
健全生	95%	90%	45%	45%	50%	75%	100%	85%	90%	95%	77%
<i>t</i>	1.00	1.45	1.98*	4.81***	3.59**	1.24	0	1.04	1.45	-1.04	4.389**

备注 1: \*代表 sig < 0.05, \*\*代表 sig < 0.01, \*\*\*代表 sig < 0.001, 下同。

**Table 2.** Comparison of discrimination reaction time of two groups of subjects on tactile graphics of different shapes (unit: Second)  
**表 2.** 两组被试对不同形状触觉图形的辨别反应时比较(单位: 秒)

	圆形	椭圆形	平行 四边形	梯形	长方形	正方形	三角形	五边形	月牙形	心形	平均 反应时
盲生	4.07	4.27	5.45	5.19	3.19	3.77	3.04	7.35	3.6	5.05	4.52
健全生	4.98	6.61	6.39	9.91	7.83	8.06	5.03	14.4	9.4	8.95	8.01
<i>t</i>	-0.95	-2.56*	-0.55	-3.48**	-3.78**	-3.87**	-2.84**	-3.09**	-5.21***	-1.94	-4.47***

备注 2: 各组的反应时仅将辨别正确的反应时计算其中。

从表 2 的数据可知, 盲生的辨别反应时显著快于健全生, 特别是在椭圆形、梯形、长方形、正方形、三角形、五边形、月牙形上, 两组之间的反应时差异都达到了统计显著水平。圆形、椭圆形、心形, 这三种图形虽然盲生的反应时要低于健全生, 但差异不显著。从数值上看, 对盲生而言, 五边形辨别的时间最长, 其次是平行四边形和梯形, 三角形的辨别时间最短, 其次是长方形和月牙形。对健全生而言, 五边形辨别的时间也是最长, 其次是梯形和月牙形, 圆形的辨别时间最短, 其次是三角形和平行四边形。其中月牙形, 盲生和健全生的辨别时间差异最显著。

### 3. 实验 2 图形肌理对触觉图形辨别的影响

#### 3.1. 研究方法

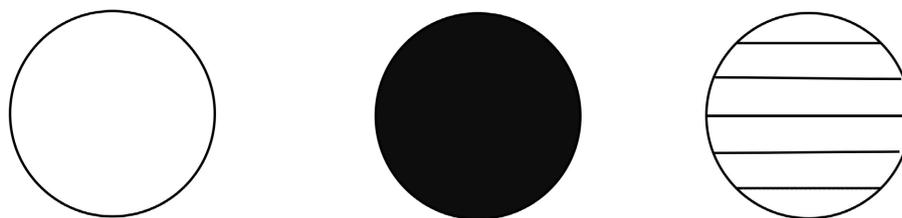
本研究亦采用两因素混合实验设计, 自变量 1 是触觉图形的肌理类型, 其为被试内因素, 包括空心、实心、条纹等 3 个水平; 自变量 2 是被试类型, 为被试间因素, 分为全盲学生和健全学生两组。研究 2 使用的被试与研究 1 一致。

#### 3.2. 研究工具

根据实验 1 的结果, 选择圆形、三角形、正方形、五边形、月牙形这五种类型不同, 且盲生和健全生辨别准确率较高的图形作为研究对象。利用立体图形打印设备, 在热敏纸上打出与实验 1 所用图形同等大小, 但不同肌理的另外两类(实心型和条纹型)触觉图卡。三种类型的图卡示例如下图 3。

#### 3.3. 实验程序

实验程序与实验 1 一致。不同形状和不同肌理的触觉图形将随机呈现给被试。要求被试通过触觉摸出图卡上的图形是什么形状后第一时间口头报告出来, 记录正确率和反应时。



**Figure 3.** Tactile graphics of three different textures  
**图 3.** 三种不同肌理的触觉图形

### 3.4. 实验结果

经统计, 两组被试在不同图形肌理的触觉图卡的辨别正确率和反应时的描述性统计结果见表 3 和表 4。

**Table 3.** Comparison of the discrimination accuracy of two groups of subjects on tactile graphics of different textures  
**表 3.** 两组被试对不同肌理触觉图形的辨别正确率比较

	空心图形		实心图形		条纹图形	
	平均数	标准差	平均数	标准差	平均数	标准差
盲生	94%	0.11	100%	0	95%	0.11
健全生	90%	0.14	85%	0.18	80%	0.22

对被试的正确率进行 2 (被试类型)\*3 (图形肌理)重复测量方差分析。结果表明就正确率而言, 被试类型的主效应显著( $F_{(1, 38)} = 9.92, p = 0.003$ ), 三种图形纹理下盲生的正确率显著高于健全生。图形肌理的主效应不显著( $F_{(2, 38)} = 2.42, p = 0.096$ ), 被试类型和图形肌理的交互作用显著( $F_{(2, 38)} = 3.22, p = 0.045$ ), 经过简单效应检验, 发现空心图形, 两组被试的正确率差异不显著, 实心图和纹理图, 盲生的正确率显著高于健全生。而且对盲生而言, 实心图形的正确率高于空心图形, 但是对于健全生, 空心图形的正确率高于实心图形。

**Table 4.** Comparison of discrimination reaction time of two groups of subjects on tactile graphics of different textures (unit: Second)

**表 4.** 两组被试对不同肌理触觉图形的辨别反应时比较(单位: 秒)

	空心图形		实心图形		条纹图形	
	平均数	标准差	平均数	标准差	平均数	标准差
盲生	4.66	2.11	3.39	1.63	5.32	3.19
健全生	8.01	3.49	7.36	2.83	10.07	5.20

对被试的辨别反应时进行 2 (被试类型)\*3 (图形肌理)重复测量方差分析。结果表明就反应时而言, 被试类型的主效应显著( $F_{(1, 38)} = 24.49, p = 0.000$ ), 健全生的反应时显著高于盲生, 图形肌理的主效应显著( $F_{(2, 38)} = 8.69, p = 0.000$ ), 实心图形的反应时最短, 其次是空心图形, 最后是条纹图形。被试类型和图形肌理的交互作用不显著( $F_{(1, 38)} = 0.79, p = 0.45$ )。

## 4. 实验 3 图形大小对触觉图形辨别的影响

### 4.1. 研究方法

本研究同样采用两因素混合实验设计, 自变量 1 是触觉图形的大小, 其为被试内因素, 包括小(1.5 CM

× 1.5 CM)、中(3 CM × 3 CM)、大(6 CM × 6 CM) 3 个水平; 自变量 2 是被试类型, 为被试间因素, 分为全盲学生和健全学生两组。研究 3 使用的被试与研究 1、研究 2 一致。

#### 4.2. 研究工具

与实验 2 一致, 仍旧选择圆形、三角形、正方形、五边形、月牙形这五种图形作为研究对象。考虑到空心图形, 盲生和健全生的辨别正确率高, 且组间差异小, 故实验 3 所用图形均为空心图形。利用立体图形打印设备, 在热敏纸上打出与实验 1 所用图形的大小缩小一半和扩大一倍的空心触觉图形。三种大小的图形示例如下图 4。

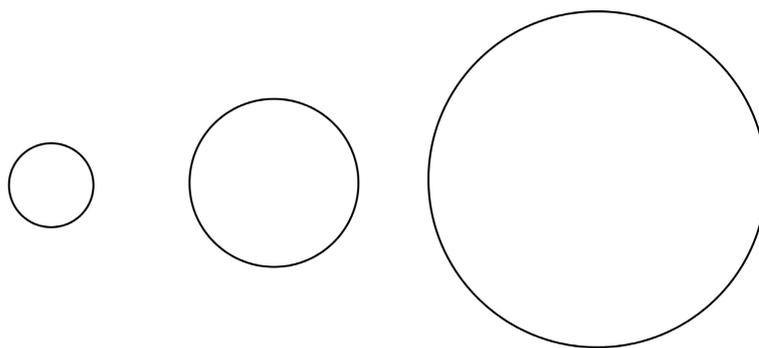


Figure 4. Tactile graphics of three different sizes

图 4. 三种大小的触觉图形

#### 4.3. 实验程序

实验程序与实验 2 一致。不同大小的触觉图卡将随机呈现给被试。要求被试通过触觉摸出图卡上的图形是什么形状后第一时间口头报告出来, 记录正确率和反应时。

#### 4.4. 实验结果

经统计, 两组被试对不同大小触觉图形的辨别正确率和反应时的描述性统计结果见表 5 和表 6。

Table 5. Comparison of the discrimination accuracy of two groups of subjects on tactile graphics of different sizes

表 5. 两组被试对不同大小触觉图形的辨别正确率比较

	小图形(1.5 cm)		中图形(3 cm)		大图形(6 cm)	
	平均数	标准差	平均数	标准差	平均数	标准差
盲生	97%	0.73	94%	0.11	99%	0.04
健全生	84%	0.14	90%	0.14	86%	0.20

对被试的正确率分别进行 2 (被试类型)\*3 (图形大小)重复测量方差分析。结果表明就正确率而言, 被试类型的主效应显著( $F_{(1, 38)} = 10.56, p = 0.000$ ), 盲生的正确率在三种大小的图形上均高于健全生。图形大小的主效应不显著( $F_{(1, 38)} = 0.43, p = 0.65$ ), 被试类型和图形大小的交互作用不显著( $F_{(1, 38)} = 2.686, p = 0.075$ )。说明图形大小对触觉图形的辨别正确率没有影响。

对被试的正确率和反应时分别进行 2 (被试类型)\*3 (图形大小)重复测量方差分析。结果表明就正确率而言, 被试类型的主效应显著( $F_{(1, 38)} = 25.75, p = 0.000$ ), 健全生的反应时显著长于盲生; 图形大小的主效

应显著( $F_{(1, 38)} = 10.81, p = 0.000$ ), 被试类型和图形大小的交互作用不显著( $F_{(1, 38)} = 0.42, p = 0.65$ )。不论健全生还是盲生, 都是 6 cm 的大图反应时最短, 其次是 1.5 cm 的小图, 3 cm 的中图的反应时最长。

**Table 6.** Comparison of discrimination reaction time of two groups of subjects to tactile graphics of different sizes (unit: Second)

**表 6.** 两组被试对不同大小触觉图形的辨别反应时比较(单位: 秒)

	小图形(1.5 cm)		中图形(3 cm)		大图形(6 cm)	
	平均数	标准差	平均数	标准差	平均数	标准差
盲生	3.91	1.26	4.66	2.11	3.38	1.16
健全生	6.75	2.72	8.01	3.49	6.16	1.80

## 5. 讨论与分析

### 5.1. 学习与训练对触觉图形的辨别能力影响分析

通过研究数据显示, 对于形状、大小、纹理相同的触觉图形, 盲生的辨别正确率普遍高于健全生, 盲生的辨别反应时普遍快于健全生, 说明盲生对触觉图形的辨别能力显著优于健全学生。这种差异一方面是因为盲生触觉的敏感度更高。受到视力残疾的影响, 盲生主要依靠触觉进行信息的感知, 特别是盲文的使用, 这使得盲生触觉的敏感度更高。据四化等人(2010)研究显示, 通过二点阈实验发现, 盲生指尖触觉阈限值比明眼学生低, 这说明盲人手指的触觉更为敏感。顾定倩(2001)认为盲人手部触觉敏感的原因, 主要是大量的训练或练习经验, 降低了触觉阈限, 形成了感觉补偿。另一方面, 则是盲生往往接受过专门的摸图训练, 形成了较好的摸图习惯。几何是中学数学中的非常重要的教学内容, 为了帮助盲生学习几何图形。盲校的教师往往有意识的开展盲生触觉图形的专门训练。宋慧艳(2005)提到在教学中会指导盲生按照从上到下, 从左到右依次摸图, 在摸图的过程中找准交点位置, 并在找准交点的基础上, 记住点、线、角的位置, 做到既不漏, 也不重。这些特定的学习与训练使得盲生对触觉图形的辨别能力有了显著的提升。而这种能力的提升为盲生利用触觉凸图作为辅助载体, 进一步学习一些复杂的模型图, 比如地理中的地图、生物中的解剖图、医学中的心电图奠定了良好的基础。因此, 在基础教育阶段, 将盲图触摸训练作为必要的学习内容是非常有必要的。

### 5.2. 图形形状对触觉图形辨别的影响分析

根据实验一的数据, 可以发现, 不论是对于盲生还是健全生, 触觉图形的形状是影响其辨别正确率和反应时的重要影响因素。综合正确率和反应时的数据, 圆形、三角形的难度最低, 无论是盲生或健全生, 都可以又快又准将其辨别出来。盲生和健全生辨别五边形正确率都偏高, 但是辨别时间都为最长, 可见, 随着图形边数的增加, 需要辨别的时间越长。对健全生而言平行四边形、梯形的正确率仅为 45%, 不足一半。长方形、正方形的正确率也不高。这四种图形都属于四边形, 与圆形、三角形相比, 这几种图形的辨别不仅要通过触觉感知图形的边数, 还要判断边的长度、角度等多种因素方可做出准确判断, 对于未接受系统触觉训练的健全生而言, 难度较大, 常常混淆。例如将平行四边形判断为梯形、将梯形判断为长方形等, 导致正确率低。对于盲生而言, 长方形、正方形作为特殊四边形在几何题中经常出现, 训练机会、练习次数多。所以他们的辨别正确率和反应时相对健全生, 提升的程度非常突出。

### 5.3. 图形肌理对触觉图形辨别的影响分析

根据实验二的数据显示, 不论对盲生还是健全生, 在空心、实心、条纹三种图形的反应时呈现一致

的趋势, 即实心图的反应时最短, 其次是空心图, 最后是条纹图。在图形内部增加条纹, 实际是增加了很多无关信息, 对于图形轮廓的判断造成显著的干扰。因此条纹图的辨别时间最长。实心图的辨别本质是对一个凸出面的辨别, 空心图的辨别是对一条凸出线的辨别, 显然面的识别相比线的识别更容易。任涛(2012)曾提出优质的触觉凸图在制作时可以把图中重要的信息用不同质地的面表示或者置于图的较高层面。因为面和较高层面所表示的信息易最先摸出。而且图上出现的各类点、面、线要尽可能简明扼要, 过度干扰信息会造成盲生触觉和思维的混乱。这些建议在本研究中得到了充分的数据验证。

#### 5.4. 图形大小对触觉图形辨别的影响分析

根据实验三的数据显示, 不同大小的触觉图形其辨别反应时差异显著。不论是盲生还是健全生, 都对中图的反应时最长, 其次是小图, 最后是大图。实验三使用的大图尺寸为  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ , 该大小与成年人手掌的大小比较接近。小图的尺寸为  $1.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ , 该大小和成年人手指指尖大小比较接近。在研究中, 通过研究者的观察以及事后对被试的访谈。我们了解到, 对于不同大小的触觉图形, 被试辨别时的策略有所不同。辨别大图时, 常常先通过手掌进行整体感知后再借助手指来感知细节。辨别小图则是主要通过手指来感知。中图也主要依靠手指, 但是中图的长度是小图的两倍, 通过手指触摸时, 沿着线条走过的时间需要更长。此外, 大图将图形的特征进行了放大, 无论是边或角的特征都更为明显。因此, 盲生对于大图的辨别正确率最高。为了提升盲生对盲图的识别效率, 盲图的大小应选择适当的大小, 特征简洁的盲图不宜过大, 而特征复杂的盲图为便于确认细节, 可以适当放大。

### 6. 研究结论

1) 相同的实验条件下, 盲人大学生对触觉图形辨别的反应时、正确率均显著优于健全大学生, 即盲人大学生对触觉图形的辨别可以做到更快更准。

2) 不同图形的辨别难度存在差异, 对盲生而言, 平行四边形、梯形、心形的辨识难度较大, 对健全生而言, 长方形、正方形、平行四边形、梯形之间容易混淆, 错误率高。

3) 不同图形肌理的触觉图形的辨识难度存在显著差异, 不论对盲生或健全生, 实心图的辨别反应时最短, 其次是空心图, 最后是纹理图。

4) 不同大小的触觉图形的辨识难度存在显著差异,  $6\text{ cm}$  的大图的辨别反应时最短, 其次是  $1.5\text{ cm}$  的小图, 最后是  $3\text{ cm}$  的中图。

### 基金项目

本研究受北京市社会科学基金项目“针灸推拿盲人大学生使用触觉凸图促进思维能力提升的教学实证研究”(项目号: 19JYB010)和北京联合大学科研项目“健康北京建设关键技术及其示范研究”(项目号: JB202101)资助。

### 参考文献

- 顾定倩(2001). *特殊教育导论*. 辽宁师范大学出版社.
- 据四化, 吴熹华, 潘宁(2010). 年龄和训练对盲生指尖触觉阈限影响的研究. *经济研究导刊*, (24), 238.
- 任涛(2012). 凸图——提高盲校数学教学质量的有效载体. *现代特殊教育*, (4), 42-43.
- 宋慧艳(2005). 盲校几何识图教学的几点尝试. *现代特殊教育*, (2), 27-28.
- 张显, 张琳(2019). 触觉凸图在视障人群教学中的应用探索. *北京联合大学学报(自然科学版)*, 33(3), 49-54.
- Ducasse, J., Brock, A. M., & Jouffrais, C. (2018). Accessible Interactive Maps for Visually Impaired Users. In *Mobility of Visually Impaired People: Fundamentals and ICT Assistive Technologies* (pp. 537-584). Springer International Publishing.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-54446-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54446-5_17)

Grussenmeyer, W., & Folmer, E. (2017). Accessible Touch Screen Technology for People with Visual Impairments: A Survey. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 9, 1-31. <https://doi.org/10.1145/3022701>

Smith, D. W., & Smothers, S. M. (2012). The Role and Characteristics of Tactile Graphics in Secondary Mathematics and Science Textbooks in Braille. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106, 543-554.

<https://doi.org/10.1177/0145482X1210600905>