

透過互動式線上 2D 與虛擬 3D 任務，評量空間能力發展

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

安德列·卡帕提

教授

羅蘭大學

E-mail: andreakarpati.elte@gmail.com

博納戴特·巴貝里

教授

聖伊士特萬國王大學

E-mail: babaly.bernadett@gmail.com

拉斯洛·布戴

教授

德布勒森大學

E-mail: budai0912@gmail.com

摘要

以二維型式再現空間因為與眾多專業有關，傳統上一直是視覺能力發展的核心任務。空間能力（心理與物理操控、變換、完成、計畫、建構等）是視覺能力發展程度的有效指標，也因此常作為判斷才能天份的依據。但是，從學院的石膏像練習，到研究經典大師作品，以紙筆或顏料仔細再現物體之間的關係，這些任務涉及的活動通常和真實的空間創造和感知經驗沒有關係。本研究的目標是開發真實生活中真正的任務，用以練習和測試空間創造與感知能力。

多媒體應用程式讓我們有機會在真實、發展性的環境中，評估空間創造與感知能力。本文提出兩種增進與評量空間能力的數位環境，一種是二維線上測試工具，另一則是移動式三維虛擬空間。玩過互動遊戲的 10-12 歲兒童都能輕鬆熟習 e-DIA 線上評量工具 (<http://edia.edu.u-szeged.hu/>) 的使用方式，並很容易學會使用 GeoGebra (<http://www.geogebra.org/>) 這套開放原始碼軟

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

體，它可以用代數和圖像方式再現數學物體，並有 3D 互動式再現功能，已運用於上萬個班級。我們的研究結果指出，這兩種工具都可以用來評量空間能力，並有潛力發展成真實的發展評估工具。本文提出一個空間能力模型，並列出評量空間能力的二維與三維任務，同時重點說明任務的標準化程序與空間能力的結構驗證程序。

關鍵詞：空間能力、線上測驗、數位創造、虛擬學習環境

空間能力教育評量：傳統與創新方法

再現空間向來是藝術家養成教育中最重要的基本能力。一則古老的故事說明藝術品對觀賞者的影響力，與描繪空間的能力有關。兩位著名的古希臘畫家比賽誰的表現技巧比較高明，其中一位畫出栩栩如生的靜物畫，連鳥兒都飛到畫上想品嚐水果，另一位畫家成功地騙過對手，當對方伸手想拉開眼前的簾子看清楚他的畫作時，才發現簾子是畫家的傑作。勝出的畫家成功騙過了一位藝術家的眼睛，而另一位只能用錯覺騙倒動物。匈牙利的藝術學科－藝術與視覺文化課程，主要教授多元而精緻的視覺語言，以運用於各種用途，從透過溝通表達自我，到以不同的風格與符號系統描繪；而其中空間就是實驗與學習的主要領域。許多國家的教學方式也類似 (Haanstra, 1994, Glaser-Henzer et al., 2012, Kárpáti and Gaul Eds., 2013)。本研究的目標是開發真實生活中真正的任務，能在學校與家中輕鬆使用，以練習和測試空間創造與感知能力。本文說明兩套任務的開發與先導研究，一套是二維靜態的形式，另一套則是三維虛擬動態形式，模擬現實生活中的空間操作。

培養與評量空間能力的傳統方法

十九至二十世紀初，藝術學院和建築工作室培養與評量空間能力的傳統方式包括畫透視圖、畫古典藝術品的石膏像、研究幾何形狀並描繪平面圖與剖面圖 (Efland, 1999, McDonald, 2004)。許多行業和專業都講求空間能力，而幾何繪圖又是空間能力的重要指標，因此在十九世紀最後數十年，幾何繪圖成爲大眾教育中數學科的一部份，之後也進入藝術科 (Gittler and Glueck, 1998)。

二十世紀的學校課程培養兩組不同的空間能力，一種是幾何建構，一種是藝術創作。這兩種能力關係不是很密切，但都有相同的目標，就是爲進入某些專業作準備 (Smith, 1996)。此時發展出多種評量空間感知與心理操作能力的測驗，而空間能力也成爲視覺天份的重要條件 (Bennet, 1973, Guay, 1977, Séra, Kárpáti and Gulyás, 2002, Clark, 1989)。認知技能，例如推理能力，也發現和空間定位能力有關 (Newcombe and Huttenlocher, 2008)。

藝術與科學教育的跨領域研究指出，空間關係的視覺化能力與數學解題能力有關。「研究發現，空間理解程度與示意圖的使用都與解決問題能力呈顯著相關，這項研究的成果對政策與實務有影響，藝術教室是培養學生空間理解和

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

合理思考的環境，這些能力除了與藝術相關，也與數學能力有關」(Edens and Potter, 2007, 282)。在一篇以隱喻為標題的論文：「空間能力與 STEM：發掘與發展才能的沉睡巨人」當中，David Lubinsky (2010) 提倡整合視覺文化與科學領域的發展計畫：「空間能力是個別差異的一大系統性來源，在複雜的學習與工作環境中向來遭到忽視；建立模型培養專業與創意成就時，也時常忽略這項能力。但是，逾 50 年的縱向研究紀錄指出，在需要對數字、圖案與形狀進行複雜推理的教育與職業環境中，空間能力扮演了重要角色。既然資訊時代提倡培養 STEM（科學、科技、工程與數學）才能，現在正是強調空間能力之心理意義的契機」(Lubinsky, 2010, p. 344)。

空間的視覺化與觀察能力在日常生活中扮演重要角色。將大型車輛停進狹窄的停車位、用地圖或語音指示找到方向、重新組合一件壞掉的東西或買大小適合客廳的傢俱，要真實評量這些任務所用的能力，需要使用更脈絡化的任務，而不是抽象的任務。9-10 歲兒童已經可以操作三維物體 (Mohler, 2008)，但是，時間與財務限制讓我們無法進行真實的評量活動。互動式電腦科技可以輔助強化空間能力的真實生活程序，也是容易使用、費用廉宜且精準的評量方法。

創新評量方法

視覺能力的情境式偵測、發展與評量策略，似乎也是不錯的空間研究模式 (Billmeyer, 2013)。Billmeyer 認為能力結合了技巧、知識與態度，讓我們在特定情境中下適切行動，這些情境代表特定環境下的資源與限制。在 ENViL (European Network for Visual Literacy, 歐洲視覺素養網絡)¹中，我們決定整合匈牙利視覺能力診斷式評量中的真實生活空間問題，檢視這套實用策略的效度。我們描述一個情境的類型、內容與形式，同時說明這項任務最可能發生在哪些視覺文化社群。

以二維抽象元素操作空間物體一直被當成辨識與評量空間能力的有效方式，但是，與沈浸在多媒體科技中的幾代學生合作後，我們發現這個方法不真實而怪異。教育娛樂與遊戲應用程式（例如 Quest to Learn²計畫開發的題目）

¹ 歐洲視覺素養網絡 (The European Network for Visual Literacy, ENViL) 是 2010 年創立的藝術教育者非官方研究網，由來自 9 個國家的 40 名教育工作者共同研究創立一套歐洲視覺素養架構 (European Framework of Visual Literacy)。

² Quest to Learn 首頁：<http://q2l.org/>

一直使用細緻的虛擬空間來激發各種空間技巧，從空間定位到記憶，從操作到建構等。KINECT³ 將真實動作傳送至虛擬空間當中，並提供真實的定位體驗。Leonar3Do⁴ 軟體讓使用者在真實空間中操作並創造 3D 影像，這些影像還可透過 3D 印表機製成雕像或物體。哈佛心像與人類電腦互動實驗室 (Harvard Mental Imagery and Human Computer Interaction Laboratory⁵) 利用操控虛擬空間的概念，發展出一套結合虛擬時境與擴增實境的空間性向測驗。

在研究方法上，我們的目標是結合這些數位解決方案，運用到視覺藝術的教育評量當中。我們運用兩種不同形式的數位科技，第一種是彈性的個人化線上練習與測驗環境，使用二維任務。第二種是三維 (3D) 軟體解決方案，在動態的虛擬環境裡，可以用真實的方法創造、操作與感知空間。本文將扼要說明這些二維與三維評量方法的初步比較結果。

空間能力發展與評量計畫

視覺能力發展的實證研究一直是匈牙利藝術教育研究自 1880 年代創立發展以來的重點 (Kárpáti and Gaul, 2011)。目前的全國視覺素養評量當中，共發展出 90 項採用不同創意媒體的任務，並提供給 5000 位 6-12 歲學生作答，測驗其視覺技巧與能力架構的效度。在針對資料進行因素分析之後，我們簡化了由 12 位頂尖藝術教育工作者設計的假設性架構，將原本 19 項視覺能力題目縮減成四組，提供更符合實際的課程創新架構 (Kárpáti and Gaul, 2012)，其中有三組包含了空間能力：

1. 空間知覺

- 空間定位
- 體驗空間、辨識空間特質
- 詮釋空間結構、縱向與橫向剖面

2. 空間再現 (2D)

- 根據視覺感知，再現空間特質
- 再現空間位置 (2D)
- 組織視覺元素，創造空間感 (例如節奏、平衡)

³ KINECT 官網首頁：<http://www.xbox.com/hu-HU/kinect/>

⁴ Leonar3do 軟體官網：<http://leonar3do.com/>

⁵ Maria Kozhevnikov 在哈佛大學與國立新加坡大學主持的心像與人類電腦互動實驗室探討了視覺／空間影像的神經機制。<http://www.nmr.mgh.harvard.edu/mkozhevnlab/>

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

- 再現隨時間變化的空間經驗
- 空間的重構
- 空間的再生產，抽象化

3. 創造空間物體 (2D 與 3D)

- 設計
- 製作模型
- 創造
- 建構

下表說明如何將空間能力要素整合至匈牙利「藝術與視覺文化」和「數學」課程當中。找出課程針對年齡 (10-12 歲, 小學 4-5-6 年級) 適用的空間能力與相關知識後, 我們發展出 62 項任務和評分說明, 並置入全國線上測驗系統 eDIA 中。

表 1 匈牙利各年級課程的空間能力要素

能力要素	說明	年級	範例-數學	範例-藝術與視覺文化
1. 解碼與使用空間再現系統 (2D)	應用再現系統來詮釋空間關係。	4	軸量法, 平面的再現	蒙奇投影法、軸量法、透視法
2. 分析與使用傳統的空間再現方法 (2D)	透過改變尺寸、色調、位置等, 應用傳統再現法來詮釋空間關係	4	觀察與再現平面圖形 (側邊、頂點、對面、相鄰) 的各個部位和相互關係	(再現位置與方向) 例如, 上一下、前一後、右一左、前景一背景) 與尺寸差異
3. 體驗空間、辨識空間特質	認識與再現形狀 (2D、3D)	4	立方形與立方體的特性	將凹一凸、正一反、開一關、簡單一複雜、規律一不規律等特性視覺化
4. 設計與建構空間物體 (2D)	解決有關空間構圖與設計的問題, 詮釋 2D 空間概念	4	平面的構成、(不)相等的條件	投影繪圖、剖面圖、地面圖、正視圖、空間布局
5. 設計與建構空間物體 (3D)	解決有關空間構圖與設計的問題, 3D 的空間概念	4,5		建構與分析模型、設計物體、雕塑、摺紙
6. 空間定位	在真實與虛擬空間, 包括圖畫、技術性繪圖、地圖、模型、日常經驗與空間記憶當中的定位能力。	5,6	計算空間物體的表面、分析結構, 並觀察因修正要素所造成的變化	
7. 空間的重構	從 2D 圖像重新建構和再現 3D 物體	6,7	根據平面圖再現形狀	辨識建築的平面圖並說明空間解決方案的功能

8. 組織視覺元素帶來的空間感	分析不同構圖帶來的空間效果。	6,7		元素重複所造成的節奏、平衡感(穩定 vs. 不穩定的構圖)	透過互動式線上 2D 與虛擬 3D 任務，評量空間能力發展
9. 視覺特質的基本元素	可用來創造空間錯覺的圖像技術與方法。	6,7		光影效果、紋理—製作、配色、對比	
10. 詮釋空間結構	自然與人工造型的結構、結構元素之間的關聯。	5,6	容積與體積的測量：重疊、交叉。	縱向與橫向剖面，部份與整體關係	
11. 空間的化約與抽象化	抽象空間再現的詮釋、空間形式與關係的化約。	6,7	詮釋球面幾何學、地圖	地圖符號、交通與其他空間方位符號	
12. 動態空間感知	再現隨時間變化的空間經驗	6,7	心像旋轉	視角變化、動作階段、心像旋轉、動畫、影片	

藝術教育的 eDIA

爲了展現藝術教育對科學科技教育和日常生活認知情意能力的助益，並將視覺能力納入重要且可評量的教育項目，我們參與了匈牙利塞格德大學的認知與情意技能評量發展計畫 (*Development of The Assessment of Cognitive and Affective Skills and Abilities Project*)。在*視覺素養計畫*的第一階段，我們發展了一套紙筆任務和數位任務，並進行先導研究，在小學裡進行預試。之後，最適合的任務獲選納入 eDIA (*線上適性與互動測驗*) 當中，提供所有匈牙利學校容易使用的免費測試。eDIA 的特色：

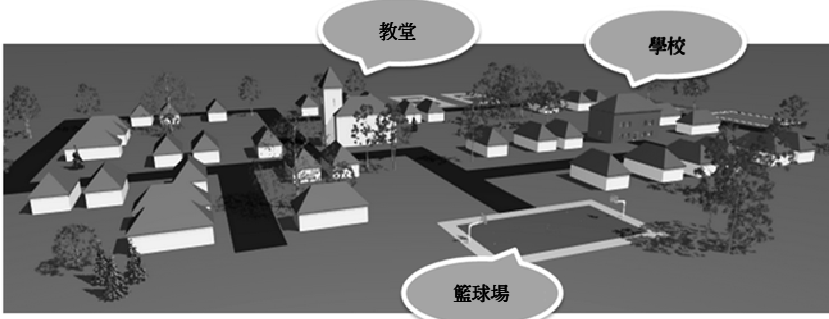
- 針對三大主要能力(閱讀、數學、科學)以及其他十四項認知、情意與技能能力，進行診斷式能力評量
- 線上、適性、啟發性的測驗
- 匈牙利各地學校均可免費使用這套容易取得的測驗，做發展與評量之用
- 可立即了解學習者的知識與能力程度，取得個人化的意見回饋
- 適合 6-12 歲學生(1-6 年級、ISCED 第一級)的測驗與任務
- 使用聲音、影像、影片與動畫等各種題目
- 不同的回應形式(例如：作記號、點擊、塗色和重新排列影像、輸入文字、文圖配對)

以下任務範例說明系統如何將日常生活常見的空間任務進行真實的視覺化。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

任務 8

這張圖片裡有一座村莊。每天早晨，有四個小孩會先碰面再一起去上學。今天早上，雷貝卡和汪達在籃球場前碰面，而史堤夫和貝瑞則從教堂出發。他們各自的上學路線用黑色線條標示。



誰會先到學校？是雷貝卡和汪達，還是史堤夫和貝瑞？

- 史堤夫和貝瑞（從教堂出發）
- 雷貝卡和汪達（從籃球場出發）
- 他們同時到達

圖1 推估虛擬空間中的距離（4 與 5 年級）。匈牙利線上互動式測驗「eDIA」中的一項任務（螢幕畫面擷取，July 2014）

eDIA 任務的畫面美觀，是賞心悅目的視覺化工具，並且比起傳統紙筆測驗中黑白、抽象的軸側投影圖像，更有助於理解空間問題。在電子評量過程中，學生身處於類似社交網站和遊戲軟體平台的測驗環境。使用研究顯示，學生可以輕鬆地操作各項功能表單。在「藝術與視覺文化」任務中，所有練習題會隨時顯示操作選項，以及專為閱讀速度較慢學生設計的語音功能。數位影像創造逼真的空間再現感，並精準重現複雜的空間情境。

二維數位任務的發展、線上測驗的建構

eDIA 中的作答方式包括做記號、塗色與移動影像、輸入文字、文字圖像配對或將題目分組，同時也著重感知、設計與創造過程涉及的認知技巧，就像在真實生活一樣。測驗的重點是視覺能力，但也同時測驗其他能力，彰顯藝術教育的跨領域意義。

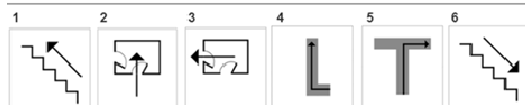
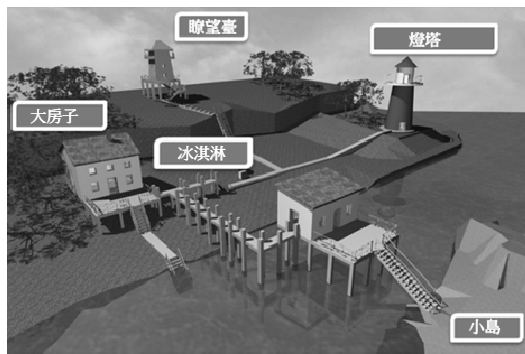


圖2 利用符號表示的方向，在虛擬空間中尋找方向（如下方所示）。4 年級生的任務（年齡：10 歲）

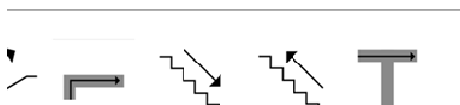
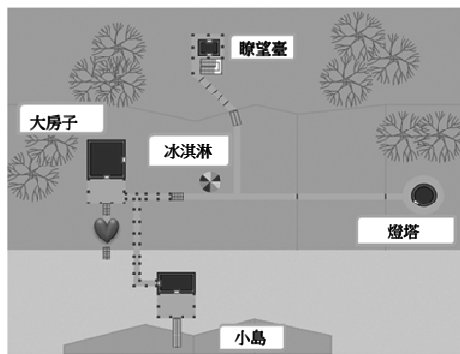


圖3 圖 2 為較困難的空間定位任務（適合 12 歲、6 年級學生）：以地圖描繪虛擬空間，以符號代表各種方向

透過互動式線上 2D 與虛擬 3D 任務，評量空間能力發展

在 eDIA 測驗裡，「藝術與視覺文化」科目的測驗結果可拿來與四大核心領域（數學、母語、科學與外語），以及其他十一項學習領域（包括音樂與媒體藝術）比較，揭示藝術教育對認知、情意、技能三方面的助益。最終版本的 eDIA 系統能監控個人發展情況，並依據先前的測驗結果，提供任務以加強個人技能。因此，藝術教師可以設計出個人化的教學流程，同時培養才能並滿足特殊需求（例如心理或技能缺失）。

由於我們的研究目標是為藝術與數學教育者提供實用的教學與練習工具，而不只侷限於測驗工具，因此我們設計的任務只會針對一項或少數幾項技能元素（需要多種技能的任務除了掩蓋優點，也會掩蓋缺點）。為了提升內容的效度，我們分析了目前空間能力心理測驗的題目、匈牙利課程目標，以及相關的教學內容，以找出應該納入我們發展評量任務的重要能力元素（例如：我們收入了心像旋轉和變換題目，因為這是智力測驗當中的標準測試內容，同時也是了解基礎幾何學的基礎）。青少年（10-13 歲）很少接受這方面的能力測驗，因此我們必須調整既有的任務類型（例如，每個任務的心像旋轉只有一個方向，並以優美的影像取代抽象形狀）（圖 4）。

我們的任務主要針對四組空間技巧：

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

1. **空間位置、關係、方向**：請學生在仿照真實生活建構的虛擬空間中定出方向。要解決這些空間問題，學生必須觀察距離、物體大小，然後判斷自己與這些物體在空間中的相對位置。（請參考圖 1-3 的範例）。
2. **三維形狀結構的理解能力**：認知空間形狀與其凹凸延伸、觀察隱藏的體積、觀察規律—不規律的空間結構、理解各個結構元素之間的關聯。這些能力都是許多職場與專業要求的基本條件。如果早期發現，便可有效培養欠缺的能力。
3. **空間重建**：學生必須在以二維影像（投影繪圖、剖面圖、地面圖、正視圖與象形圖）呈現的圖像中，辨識出三維的空間情境。
4. **空間變換與操作**：這一組任務需要心理運作能力，例如切割、旋轉、移動、鏡像反射、組合和建構（請參考圖 4 範例）。



圖 4 心像旋轉任務中用來顯示各個移動階段的圖像（適合 4-7 年級生）。

取樣與測驗流程

2013 年 5 月，我們針對來自首都和一座小鄉鎮、年級近乎平均分佈於 4、5、6 年級（10、11、12 歲）的 161 名學生，進行這項測驗第一個版本的預試。在 2013 年 10 月的第二階段預試中，我們在兩間學校進行測驗（來自 4、5、6 年級的 252 名學生）。大約一半的學生參加 eDIA 線上測驗，另一半則參加紙筆測驗，以 PowerPoint 簡報展示任務，請學生在答案卷上作答。

完成預試之後，於 2014 年三月至六月間，使用修正後的測量工具，以來自全國 14 所學校 4、5、6、7 與 8 年級的 633 位學生（10-14 歲）為樣本，評量空間能力（樣本包含 163 名 4 年級生、161 名 5 年級生、104 名 6 年級生、195 名 7 年級生與 10 名 8 年級生）。4-5 年級（10-11 歲）使用的測驗版本 A 內含 11 項任務，而 6-8 年級（12-14 歲）使用的測驗版本 B 包含 13 項任務。學生的作答時間均作紀錄，完成一項測驗預計最多需要一堂課（45 分鐘）的時間。我們使用這個大型樣本來定義最適當的時間限制—學

生平均在 20 分鐘內完成測驗。在學生背景問卷調查中，紀錄了家庭背景、左右撇子、學習表現，參與藝術、設計、數學與運動相關正式及非正式學習的機會，並用於後續分析之中（將於另一份報告中進行討論）。另請參與教師報告有關這項測驗的經驗。教師的評語和校外評量人員的現場體驗指出，這些測驗可以鼓勵學生，對教師而言測驗真實而可靠，因此有助於用於藝術教育，培養技能並評量成果。這套新的空間能力測驗工具所需時間和繪製最簡單的透視圖差不多，且經證實是套具有啟發性而完善的評量方法，適合用來定義多種空間能力要素的發展程度。

結果

互動式空間能力測驗的結果（二維、靜態的任務順序）請見圖 5。測驗答對率（以百分點表示）介於 4% 與 100% 之間，平均為 55.54 個百分點，誤差值為 19.71。雖然平均表現略高於理想的 50 百分點，但測驗結果呈現常態分佈。

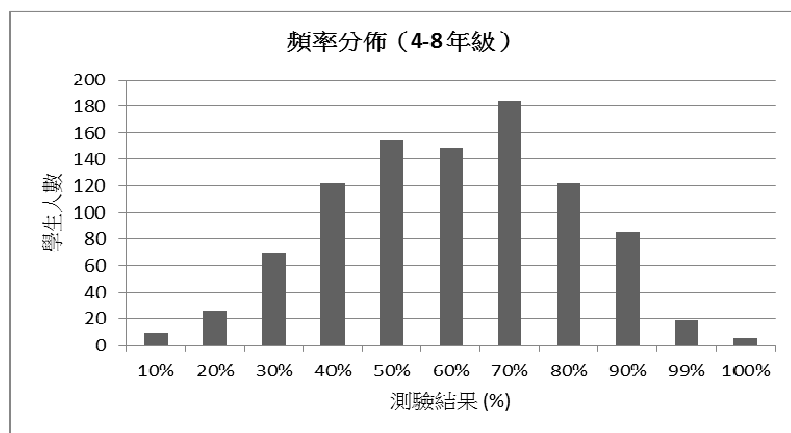


圖5 結果的絕對頻率 (4-8 年級, N=946)

參與測驗的各年級學生表現有明顯差異。圖 6 顯示各年齡組別的測驗結果，以及 4-5 年級與 6-8 年級使用的兩種測驗版本的難度差異。大部份結果落在 50 – 63 % 之間，各校之間沒有顯著差異（圖 7）。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

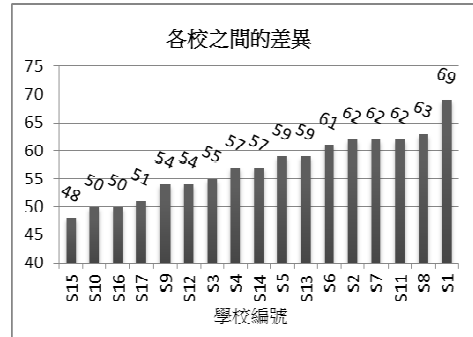
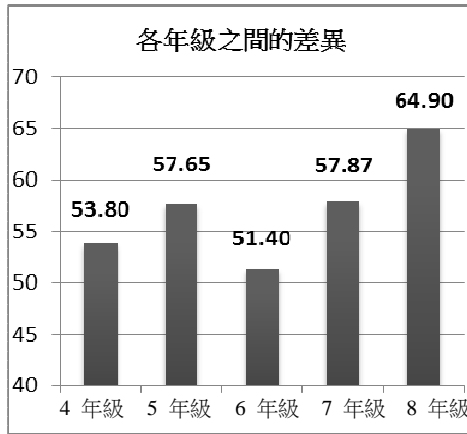


圖6 4-8 年級的平均表現(百分點)(10-14 歲, N=946)

圖7 平均學校測驗結果(百分點)(4-8 年級, N=946)

學生可以輕鬆解決他們在日常生活中遭遇的空間問題，例如推估距離和使用地圖來尋找方向。與可辨別形狀有關的心理操作任務似乎比較簡單，大部份學生覺得與抽象幾何形狀有關的空間操作太難。認知技能的發展(例如：分析、比較、抽象化能力)影響了學生的表現。一般而言，題目難度不同的測驗可以鑑別出兒童的空間能力(圖 8)。

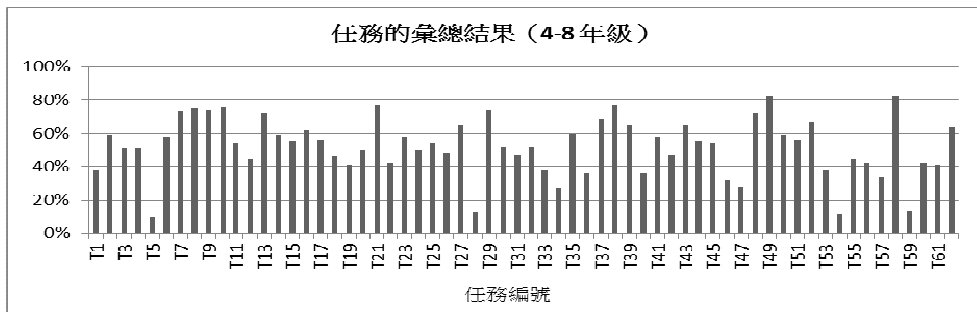


圖8 eDIA 測驗 62 項任務的測驗結果 (N=988)

整體測驗與個別任務之間的相關性介於 0.208 到 0.549 之間。所有任務與總分均呈現顯著相關。空間能力程度的最佳指標是空間定位的相關任務。評量相同能力要素的任務之間，成對相關最強(表 2)。

表 2 任務與測驗結果的相關性 (6-7 年級使用的測驗版本 B, N=270)

相 關														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	總和
T1	-	,150	,039	-,028	,082	-,054	,119	,057	,118	,073	,137	-,012	,092	,208
T2	,150	-	-,016	,019	,083	,041	,064	,209	,233	,148	,112	,098	,011	,413
T3	,039	-,016	-	,223	,049	,126	,033	,140	,220	,228	,091	,105	,016	,429
T4	-,028	,019	,223	-	,044	-,012	-,029	,121	,008	,055	,031	,113	-,030	,276
T5	,082	,083	,049	,044	-	,081	,188	,201	,237	,287	,090	,098	,132	,458
T6	-,054	,041	,126	-,012	,081	-	,074	,101	,105	-,006	,065	,109	,119	,375
T7	,119	,064	,033	-,029	,188	,074	-	,127	,006	,053	,005	,040	,105	,359
T8	,057	,209	,140	,121	,201	,101	,127	-	,228	,272	,075	,176	,147	,467
T9	,118	,233	,220	,008	,237	,105	,006	,228	-	,388	,091	,182	,109	,549
T10	,073	,148	,228	,055	,287	-,006	,053	,272	,388	-	,135	,132	,091	,465
T11	,137	,112	,091	,031	,090	,065	,005	,075	,091	,135	-	,067	,111	,285
T12	-,012	,098	,105	,113	,098	,109	,040	,176	,182	,132	,067	-	,139	,475
T13	,092	,011	,016	-,030	,132	,119	,105	,147	,109	,091	,111	,139	-	,397
總和	,208	,413	,429	,276	,458	,375	,359	,467	,549	,465	,285	,475	,397	-
* 相關達 0.05 顯著水準														
* 相關達 0.01 顯著水準														

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

背景變項與測驗結果的相關性，只有在同一個班級或學校之內才顯著，在整體樣本中並不顯著。例如，在單一學校內，數學、文法與外語等科目的期末結果（平均成績）與測驗結果呈現顯著相關，但整體樣本並沒有這種現象。在未來研究中，我們將探討該現象的原因，找出可能干擾測驗結果的因素。其他研究與近期發表的國際學生評量計畫結果 (PISA, 2012) 已一再顯示，學生在校成績與有效評量工具評估的能力發展程度，兩者關係不大 (Csapó, 2004, 2008)。本研究中，教師的評分習慣可能也是學校成績與空間能力表現程度無關的原因。

我們就 eDIA 測驗版本 B 的 13 項任務（提供給 6、7 年級生）與 eDIA 測驗版本 A 的 11 項任務（提供給 4、5 年級生）進行因素分析。測驗版本 B 當中，任務之間的因素變異量為 60.82。根據共同性數值，辨識出五種空間能力因素（表 3）：

1. C1：感知方向與視角變化：此能力引導空間定位與心像旋轉，大部份空間操作都需要這種能力。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

2. **C2**：感知，但不詮釋空間結構與形狀特質（最強的相關為負值）。這項因素顯示，在詮釋空間關係時，由數學（幾何）與藝術和視覺文化所培養的認知能力很重要。
3. **C3**：心理變換：這項因素顯示，摺合與重建之間相關最強，而認知與詮釋靜態空間情境呈負相關。
4. **C4**：模組變換（二維與三維的再現）：這項因素顯示相應的蒙奇投影法與透視影像呈現正相關。
5. **C5**：詮釋空間結構及形狀特質：最強的相關性為正值，再次突顯認知技能對空間感知的重要。

表 3 測驗版本 B 的成份矩陣：任務的共同值（萃取法：主成份分析，萃取出五項成份；N=270）

	要素				
	C1	C2	C3	C4	C5
T21	,251	,475	-,308	,271	,426
T22	,392	,253	-,309	,303	-,330
T47	,413	-,526	-,029	,024	,348
T48	,192	-,608	-,094	,041	,412
T49	,539	,161	,041	-,498	,071
T45	,235	-,104	,624	,269	-,150
T46	,262	,398	,334	-,371	,386
T50	,581	-,044	,062	-,052	-,113
T51	,649	-,029	-,202	-,027	-,307
T52	,651	-,068	-,279	-,252	-,113
T53	,314	,125	-,090	,559	,298
T42	,401	-,224	,286	,201	-,225
T32	,331	,267	,491	,160	,091

測驗版本 A 當中，任務之間的因素變異量為 62.95。根據共同值，辨識出四種空間能力因素（表 4）：

1. **C1**：感知方向與視角變化（這項要素與測驗版本 B 的「C1」相同）。
2. **C2**：詮釋空間結構及形狀特質（這項要素與測驗版本 B 的「C5」相同）
3. **C3**：推算虛擬空間中的距離：這項因素只與一項任務呈現強烈相關。

4. C4：心像旋轉：這項因素與心像旋轉有強烈相關，與認知與詮釋靜態空間情境呈負相關（這項要素與測驗版本 B 的「C3」類似）。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

表 4 測驗版本 A 的成份矩陣：任務的共同值（萃取法：主成份分析，萃取出四項成份；N=309）

	要 素			
	C1	C2	C3	C4
T1	,224	,431	-,312	,568
T2	,586	,154	-,004	,082
T6	,319	,608	,089	-,493
T25	,282	,684	,177	,143
T7	,564	-,122	,056	,405
T3	,571	-,268	,281	,133
T4	,521	-,229	,277	,209
T8	,344	-,023	,605	-,211
T9	,686	-,180	-,208	-,166
T10	,672	-,061	-,239	-,286
T11	,469	-,128	-,525	-,197

在組別平均、最高分數、範圍與差異方面，紙筆與線上測驗的結果並沒有顯著差異。但這項發現需要進一步確認，因為幾項比較線上與紙筆任務的研究發現，線上測驗的難度較高；這可能是因為後期測驗使用的數位影像品質更好。Sutton 等人 (2007) 發展出一項技能測驗，測量對繪圖中所再現三維概念的理解能力。紙筆與線上測驗的信度係數都很高，但數位測驗的受測者整體分數一直比較低；這可能是因為 2007 與 2013 年學生的使用數位工具的平均程度不同所致。然而，另一個原因可能與任務的視覺化的品質有關，eDIA 就像二十一世紀常見的虛擬學習環境，高度視覺化的選項俯拾即是。

GeoGebra 的動態視覺化

在實際空間的活動中，或許最容易觀察到所有四組特殊能力，但我們如何將這些經驗整合到測驗之中呢？為了解決這項關鍵的真實性問題，我們將 GeoGebra 動態數學軟體納入測驗工具組合中。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

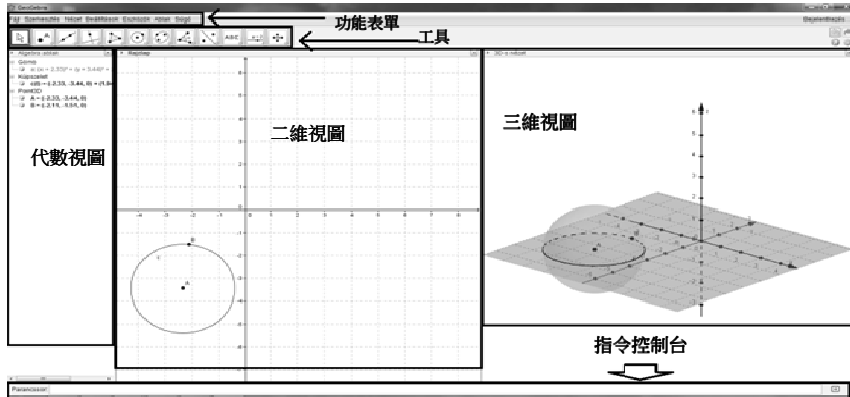


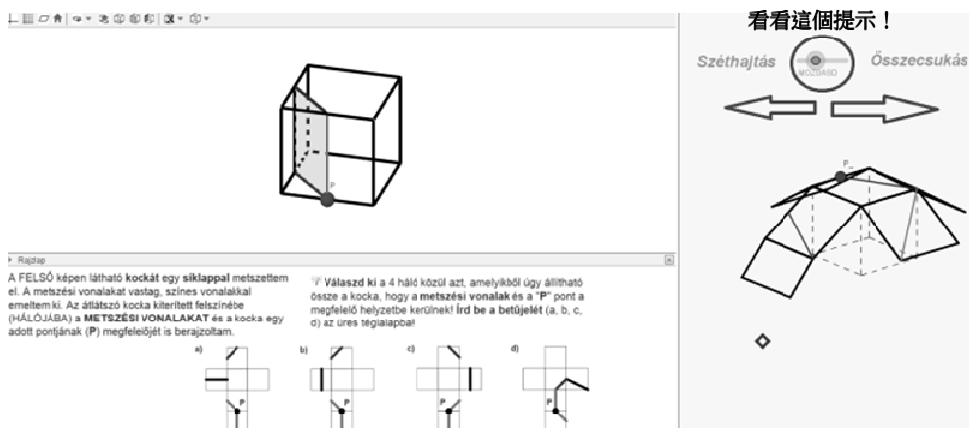
圖9 GeoGebra 界面

GeoGebra 軟體的一般特色

GeoGebra (<http://www.geogebra.org/>) 是一套可免費使用、調整與開發（開放原始碼）的軟體，提供數學物體的代數與圖像表徵，並具備 3D、互動的再現功能。這套動態視覺化軟體由 Markus Hohenwarter 撰寫，最初用在中學程度的科學與數學教育中。這是一個開放原始碼式應用程式，可以安裝在任何可執行 Java 的平台上。

今天，這個軟體已翻譯成 62 種語言，並獲得 190 個國家，122 間機構採用。軟體有 45000 份以上的線上學習研究資料，2012 年，約有五百五十萬份軟體在各校使用。數千位開發志工每天都在擴展應用程式的規模。這個軟體的成功之處在於屬開放式原始碼，且能執行 Java 的平台都可安裝。軟體最大的優點可能就是容易操作，只要具備基本電腦技能，任何人都可以在幾小時內學會操作這個軟體的基本功能，因此教師經常運用於教學與測驗上。

然而，若要將這套軟體應用在藝術教育上，可能還需要更進一步探索。本研究計畫的目標之一，便是將這些完美的視覺功能運用在最需要的地方—匈牙利的藝術教育學科「藝術與視覺文化」。



透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

圖10 在 GeoGebra 軟體中進行空間任務（GeoGebra 的動態功能是心理影像最適合的輔助）。

最新版的 GeoGebra 5.0 包含 3D 功能，十分適合創造數位空間。這個版本最重要的功能，或許是能將物體的不同表徵，連接到物體的幾何圖像與代數式。GeoGebra 是動態系統，使用者可以運用程式的虛擬設計工具包，視覺化任何空間問題。初始物體（點、直線等）和畫在紙上不同，可以隨意移動，連結的物體也會根據幾何關係而隨之移動（圖 9），因此，練習心像旋轉的學生可以確實旋轉立方體的線性表徵，再從不同的視角來觀看外型的變化。這套系統是探索學習的最佳範例，也可用來測驗空間感知程度。

任務

GeoGebra 的影像有三種移動方式：

1. 垂直動作
2. 繞點移動
3. 按滑鼠右鍵 3D 旋轉

下圖顯示幾種測驗中最常見的空間操作任務：心理摺疊、辨識空間位置、關係與方向、變換與重建。這些複雜的活動都可以藉助 GeoGebra 的動態視覺化選項，可以在螢幕上旋轉影像，然後從各種角度檢視。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

心理折疊

看看這個提

Szétvájtás — Összecsukás

FELŐ képen látható kockát két ábrával megrajzolom. A második ábránál mindig gondolatban emeld ki. Az első kocka lehetetlenebb (VALÓJÁN) a **ELŐZŐ VONALJÁZMOT** ha a kocka egy adott oldalának "meghajtását" is bemutatom.

"Válaszd ki a a hátról az az amelyik egy ábránál kocka a kocka, hogy a kockára emeld ki a "2D" pont a megjelölt helyekre (vagyis) itt be a belső (a, b, c, d) a kocka kockáján."

空間變換，移動

KIK, EDYFORMA ALAKU szövegűk van, amit szeretnél becsomagolni egy dobozba. Az **ábrák** között leírd az ábrák forgatható & helyezhető is.

Melyik az a LEGKISEBB méretű doboz, amelybe bepakolod?

(Egy, másfél vagy két kocka mélyégű)

空間位置、關係、方向

A képen látható FEHÉR, PIROSC és SÁRGA elem valójában egyforma, csak nem látszik minden részük. Forgasd el képernyőn a fehér elemet! Meggyógyulhat-e a piros és a sárga?

"Féltámpaon kell elforgatnod a NYÍL IRÁNYÁBAN a piros és sárga elemeket? Itt a továbbiakban a megadott forgatási számokkal (0, 1, 2, 3)

(Egy forgatás=90°, így kétféleképpen is lehet forgatni: kétféleképpen is lehet forgatni: kétféleképpen is lehet forgatni.)

"Válaszd ki az az, 50 mély kép az a Parthenonhoz tartozó ábráról!"

空間重建

FELŐ képen látszik egy építmény, a Parthenon modellje látszik.

"Válaszd ki az az, 50 mély kép az a Parthenonhoz tartozó ábráról!"

圖11 GeoGebra 的任務類型

先導研究：透過 2D 紙筆測驗與 GeoGebra 來評量空間能力

如果想要在各校推廣 GeoGebra 發展出的任務，我們必須證明 3D 虛擬實境是測試空間能力的真實工具，真實程度與傳統的紙筆 2D 測驗不相上下。因此，我們在 2013 年 6 月與 2014 年 5 月針對 2D 和 3D 兩種測驗環境進行兩項先導研究，地點是匈牙利一個小鎮的職業中小學。第一個樣本包含 59 名 12 歲的六年級生（29 位靜態與 30 位動態受測者），第二個樣本包含 112 名六年級生（55 位靜態與 57 位動態受測者）。該校的基礎建設和學生表現與全國平均水準相當。我們選出 11 項同時具備靜態 (2D) 與動態 (3D) 形式的任務。動態測驗在 GeoGebra 環境中舉行，靜態測驗則呈現在電腦螢幕上 (PowerPoint)，而且必須在紙上作答。

學生最多有 45 分鐘時間可完成評量。靜態與動態測驗所需的作答時間有顯著差異，大部份參加動態測驗的學生都需要將近 45 分鐘的時間。但在靜態測驗中，學生最快可在 12 分鐘內完成，即使是最慢完成的學生也只需 25 分鐘。顯然，學生需要時間來適應 GeoGebra 環境，不過一旦適應後，他們的表現就和在傳統測驗環境一樣。不過，這項預試是在一間固定使用軟體應用程式（包括 GeoGebra）的學校裡舉行，可進行大型全國研究，了解數位素養是否會影響測驗結果，又如何影響。

這項先導研究在方法上最有意思的是可以同時發展 2D 與 3D 格式的順序任務。以下是我們著重的五項空間能力：

- 空間轉變（變換、操作）
- 詮釋空間物體的機制與結構（及其轉變）
- 感知空間位置
- 使用空間影像系統
- 空間重建

透過比較二維與三維測驗的結果，我們想了解哪一種環境比較適合評量（以及後續發展）這些能力要素。

結果

下方圖 12 與 13 以十分為一個區間，顯示各分數區間的學生人數。圖表顯示符合高斯曲線，結果的分佈狀態正常。Cronbach 相關係數為 0.51，標準化題目的 Cronbach's Alpha 係數為 0.45。考量參加先導試驗的學生人數，這些數值均屬正常。

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

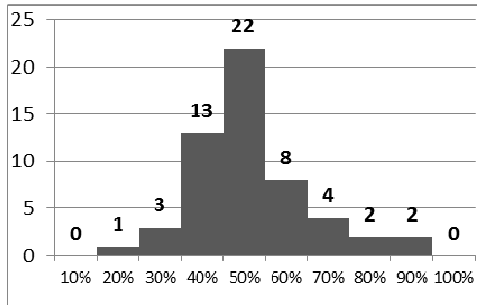


圖 12 學生的靜態測驗表現 (N=55)

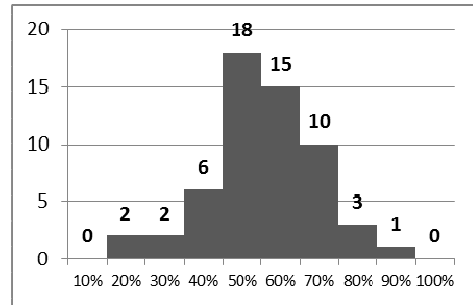


圖 13 學生的動態測驗表現 (N=57)

測驗答對率（以百分點表示）介於 80.43% 到 17.39% 之間。動態測驗的平均結果為 51.56%，標準差 0.1339。圖 14 與 15 為靜態與動態測驗中相同题目的結果概要，顯示出兩種測驗方式的結果差異，清楚表明靜態與動態測驗的難度相同，兩者都是可靠的評量方法。動態測驗並不會因為有內建的旋轉選項，而變得更容易回答，這點和動態測量應用程式批評者的假設不同。受測者無法不經思考，只透過操作與猜測來回答動態測驗的题目。

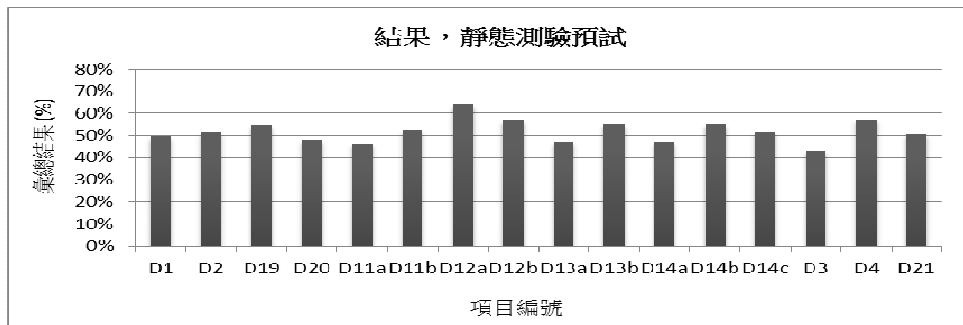


圖 14 靜態測驗任務的測驗結果 (N=55)

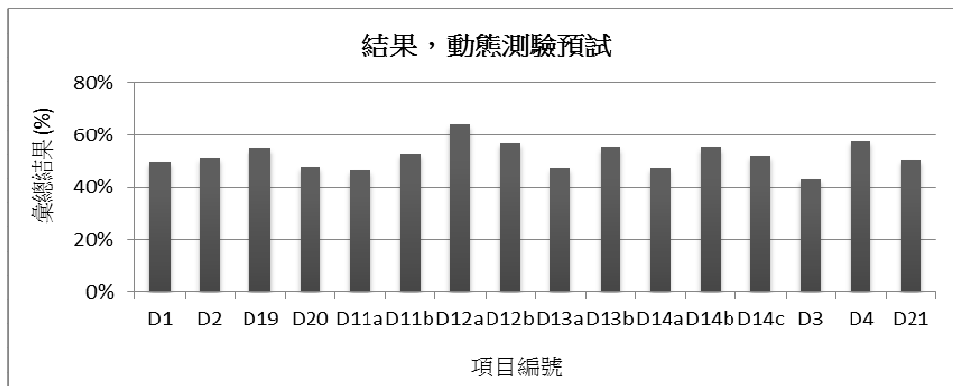


圖 15 動態測驗任務的測驗結果 (N=57)

正如圖表所示，兩種測驗環境的任務難度相當。在空間變換任務中，動態測驗結果較好，而在諸如 偵測空間位置、利用空間表徵和重建系統等大部份的任務中，學生在 2D 與 3D 環境中的表現相同。學生指出，如果不知道該選擇哪一個參考點，來旋轉物體、解答問題，轉動整個物體的機會反而讓人困惑。因為可以旋轉，學生可能會轉動整個物體，結果學生以不同的視角顯示比較低的層級，但較低層級原本應該與其他層次的位置比較才對。

整體而言，學生不覺得有哪一類任務過於困難。學生覺得最困難的任務在兩種測驗環境中都一樣，這表示測驗方式並不重要，內容才是關鍵。最簡單的任務在兩種環境中也一樣，在動態測驗中，有一項任務可以透過旋轉功能輕鬆解答，只要正確旋轉物體便能立即得知結果。但這項任務在靜態環境中也同樣容易解答。兩種工具答題表現最佳的人數也幾乎相同，表示兩種都適合用來判斷才能天份。

在兩個測驗中，文本詮釋問題一再出現，而任務說明則顯得冗長（在 2D 任務的 eDIA 測驗環境中，語音說明可能會有助於理解，但在這項先導研究中，我們沒有使用語音說明功能）。我們發現應該用簡短的說明來取代精確的數學用語，避免使用專門術語（課程中曾提到，但學生未充分習得）。

圖 16 顯示能力特性曲線，能力程度在 -1.5 與 1.5 的學生都有適合的任務，整體測驗符合高斯曲線。本結果顯示這項測驗是有效的測量方法。

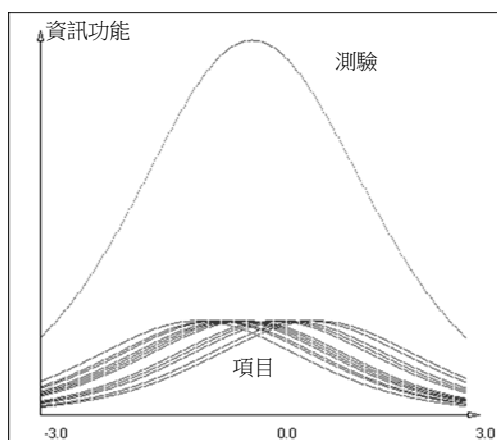


圖 16 能力特性曲線 (N=57)

在這項研究中，我們並未檢視空間能力發展的轉移效應。Bakker (2008) 指出年齡較小的學生（例如本研究的參與者）可能無法理解空間任務的所有視覺意涵，因此轉移效應可能不會發生。GeoGebra 這個工具似乎很適合用來操作複雜的空間影像，促進理解，使用者可以從不同角度觀看物體，進而了解視覺外觀的變化。

視覺化技巧過去主要仰賴藝術教育來培養，而這種技巧似乎愈來愈受到心理學的重視。Blazhenkova 與 Kozhevnikov (2010) 導入了一種新的智能要素：視覺—物體智能，其「反映一個人處理物體視覺外觀與圖像特質（例如：形狀、顏色與紋理）的能力，這種智能和視覺—空間智能不同，後者反映的是處理空間關係的資訊和操作空間中物體的能力。視覺—物體能力符合獨立智能要素的條件：(1)與視覺藝術的專門性有獨特的關係，(2)有助處理視覺—物體資訊，而且(3)具備獨特的量化與質性特質，有別於其他視覺—空間處理能力的特質(Blazhenkova and Kozhevnikov, 2010, 276)」。本文的研究顯示，真實的藝術教育發展評量的貢獻，有助偵測、評量與進一步發展這項重要的新智能因素。

未來研究展望

本研究的第二階段將修正空間能力的任務系統，測驗將施用於匈牙利 6-12 歲學生的代表性群體。並擬運用眼動儀，揭示空間操作的策略。另外，我們也將為匈牙利「藝術與視覺文化」學科的幾大領域，如視覺溝通、藝術鑑賞與環境文化等課程，發展新的順序任務。

另一項重要的研究議題是比較數位與傳統工具的創造成果。如果以數位工具取代紙筆，是否會失去創造與感知中某些重要的面向？多媒體在兒童的當代視覺語言中扮演何種角色？我們已經發現多媒體對青少年影響重大(Freedman, Hejnen, Kallio, Karpati and Papp, 2013)。未來藝術教師可以運用這些任務，來診斷與培養學生的天賦，補其不足。

未來一大研究任務，將是比較 2D 和 3D 空間能力測驗的結果，如果我們使用 3D 應用程式來開發可靠的任務、模仿電玩遊戲環境，便能在空間能力測驗中實現評量遊戲化的目標。在未來研究工作中，我們將結合日常生活視覺語言使用研究，並融合藝術與數學教育，創造更大裨益。我們的測驗流程將直接包含真實生活中常見的創意與設計實踐，連結評估、教育與（自我）提昇。

參考文獻

- Bakker, M. (2008). Spatial ability in primary school: Effects of the tridio® learning material. Masters' Thesis, Enschede: University of Twente.
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A.G. (1973). *Differential aptitude tests, forms S and T*. New York: The Psychological Corporation.
- Billmeyer, F. (2013). Visual Competencies Required in a Certain Situation - Report on an Annual Company Outing. In P. Gregory, (Ed.), *Proceedings of the InSEA Europe Conference, Canterbury, June 26-28, 2013*. Online publication.
- Blazhenkova, O. & Kozhevnikov, M. (2010). Visual-object ability: A new dimension of non-verbal intelligence. *Cognition*, 117(3), 276–301.
- Clark, G. (1989). Screening and Identifying Students Talented in the Visual Arts: Clark's Drawing Abilities Test. *Gifted Child Quarterly*, 33(3), 98-105.
- Edens, K. & Potter, E. (2007). The Relationship of Drawing and Mathematical Problem Solving: "Draw for Math" Tasks. *Studies in Art Education*, 48(3), 282-298.
- Efland, A. (1990). *A history of art Education: Intellectual and social currents in teaching the visual Arts*. Boston: Teachers College Press.
- Freedman, K., Hejnen, E., Kallio, M., Kárpáti, A., & Papp, L. (2013). Visual Culture Networks for Learning: What and How Students Learn in Informal Visual Culture Groups. *Studies in Art Education*, 54 (2), 103-115.
- Gittler, G., & Glueck, J. (1998). Differential transfer of learning: Effects of instruction in descriptive geometry on spatial test performance. *Journal for Geometry and Graphics*, 2(1), 71-84.
- Glaser-Henzer, Edith, Diehl Ott, Luitgard, Diehl, Ludwig, Peez, Georg (2012). *Zeichnen: Wahrnehmen, Verarbeiten, Darstellen. Empirische Untersuchungen zur Kinderzeichnung und zur Ermittlung*

räumlich-visueller Kompetenzen im Kunstunterricht. Munich, Germany: Kopaed.

Guay, R. B. (1977). *Purdue spatial visualization test: Rotations*. Purdue Research Foundation: West Lafayette.

Haanstra, F. H. (1994). *Effects of art education on visual-spatial and aesthetic perception: Two meta-analysis*. Rijksuniversiteit Groningen: Groningen

Harvard Mental Imagery Lab (no date). Spatial Aptitude Test. http://www.nmr.mgh.harvard.edu/mkozhevnlab/?page_id=657
(Page last opened on 11 August 2013.)

Kárpáti, A. (2013). Approaching PISA - authentic assessment in Hungarian art education. In P. Gregory, (Ed.), *Proceedings of the InSEA Europe Conference, Canterbury, June 26-28, 2013*. Online publication.

Kárpáti, A., & Gaul, E. (2011). From Child Art to Visual Language of Youth: The Hungarian Visual Skills Assessment Study. *International Journal of Art Education*, 9(2), 108-132.

Kárpáti, A., & Gaul, E. Eds. (2013). *From Child Art to Visual Language of Youth. - New Models and Tools for Assessment of Learning and Creation in Art Education*. Bristol: Intellect Publishers.

Lubinsky, D. (2010). Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49(4), 344–351.

MacDonald, S. (2004). *The History and Philosophy of Art Education*. Cambridge: Lutterworth Press.

Mohler, J. L. (2008). A Review of Spatial Ability Research. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(2), 19-30.

Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2003). *Making space: The development of spatial representation and reasoning*. MIT Press. PISA 2012: Results in Focus. Paris: OECD

Séra, L., Kárpáti, A., & Gulyás, J. (2002): *Perception and Representation in Space. Psychology of visuo-spatial skills: characteristics, development and assessment*. (In Hungarian) Pécs: Comenius Publishers.

- Smith, P. (1996). *The History of American Art Education: Learning about Art in American Schools*. Westport, CT: Greenwood Publishing Group.
- Sorby, S. A. (1999). Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2), 21-32.
- Sutton, K., Heathcote, A., & Bore, M. (2007). Measuring 3-D understanding on the Web and in the laboratory. *Behavior Research Methods*, 39 (4), 926-939.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604.

透過互動式線上
2D 與虛擬 3D 任
務，評量空間能力
發展

銘謝

本文的研究報告受下列研究計畫協助：

診斷式評量計畫的發展，由塞格德大學教育理論研究團隊共同主持。（計畫編號：TÁMOP-3.1.9-11/1-2012-0001）

資通訊科技在學習與知識習得方面的應用：人類表現科技發展研究與訓練計畫。（計畫編號：TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0008，歐盟委託，歐洲社會基金資金贊助）