特殊教育季刊　民 110 年 12 月　第 161 期　第 13-32 頁
Doi: 10.6217/SEQ.202112_(161).13-32

3D 列印握筆器個別化設計發展對一位大專院校脊髓性肌肉萎縮症學生書寫功能表現之研究

林靖文
國立臺灣師範大學
復健諮商研究所
碩士

佘永吉*
國立臺灣師範大學
特殊教育學系
助理教授

簡睦容
國立陽明交通大學
物理治療暨輔助科技學系
專任助理

陳振昇
國立陽明交通大學
物理治療暨輔助科技學系
教授

摘　要

脊髓性肌肉萎縮症學生因為生理障礙，在就學、未來就業和就養需要科技輔具改善功能表現，於寫字能力更需個別化調整。3D 列印技術可製作客製化產品，最小化其障礙限制。本研究之目的在建立 3D 列印技術於製作握筆器之個別化設計與發展，探討學生寫字表現。採用單一個案研究法之跨行為多基線設計，以脊髓性肌肉萎縮症學生為對象，探討建立 3D 列印技術個別化製作握筆器流程及抄寫表現；實驗握筆器原型共經歷六次調整，本研究以「基本讀寫字綜合測驗」探討抄寫速度表現、以光學字元辨識軟體判讀抄寫品質。經過施測、介入後，顯示 3D 列印技術應用於個別化握筆器之設計與發展具可行性；脊髓性肌肉萎縮症學生使用 3D 列印握筆器後，抄寫速度有提升、抄寫品質有改善。3D 列印技術可應用於特殊教育領域中為更多有特殊需求的學生解決問題。

關鍵詞：脊髓性肌肉萎縮症、三維列印、握筆器、抄寫表現

* 通訊作者：佘永吉（siaa@ntnu.edu.tw）

Special Education Quarterly December, 2021 Issue No. 161 Page 13-32
Doi: 10.6217/SEQ.202112_(161).13-32

Individualized Development of 3D-printed Pencil Grip for a College Student with Spinal Muscular Atrophy

Ching-Wen Lin
Master,
Graduate Institute of
Rehabilitation Counseling,
National Taiwan Normal University

Yung-Ji Sher*
Assistant Professor,
Department of Special Education,
National Taiwan Normal University

Mu-Jung Chien
Research Assistant,
Department of Physical Therapy and
Assistive Technology,
National Yang-Ming University

Chen-Sheng Chen
Professor,
Department of Physical Therapy and
Assistive Technology,
National Yang-Ming University

Abstract

Students with Spinal Muscular Atrophy (SMA) usually need technical aids to improve their functional performance, especially in writing, at school, in the workplace, and at home. Since the students' writing performance varies, the aids require individualized adjustments. Taking advantage of the capability of customizing products through 3D printing technology, the author aimed to design a 3D-printed assistive device to minimize the writing obstacles faced by SMA students—pencil grip. The study was to establish the individualized development of a 3D-printed pencil grip, and to explore its effectiveness through single-subject multiple-baseline-across-behaviors research design. The research used The Battery of the Chinese of Pupils and CamScanner, an optical character recognition software, to examine the writing speed and quality of SMA college students. There were two SMA college students in the practice test development stage and in the official test stage who had their writing performance examined both with and without the pencil grip. Results showed that designing individualized 3D printed pencil grips was feasible. Additionally, 3D-printed pencil grips could be used by students with SMA to improve their writing speed and quality. Suggestions on research methods and related aspects were provided as they related to 3D printing technology in special education so as to help even more students with special needs.

Keywords: Spinal Muscular Atrophy, 3D printing, pencil grips, writing performance

* Corresponding Author: Yung-Ji Sher (siaa@ntnu.edu.tw)

壹、緒論

一、研究動機

肢體障礙學生因為需要克服身體的限制，適應學校生活困難，衛生福利部修正的《身心障礙者權益保障法》（2021）第 30 條：

「各級教育主管機關辦理身心障礙者教育及入學考試時，應依其障礙類別、程度、學習及生活需要，提供各項必需之專業人員、特殊教材與各種教育輔助器材、無障礙校園環境、點字讀物及相關教育資源，以符公平合理接受教育之機會與應考條件。」

肢體障礙學生在普通班級接受融合教育，特殊教育現場肢體障礙學生礙於手部功能有書寫的限制，其中於課堂中脊髓性肌肉萎縮症學生大多有書寫相關之困擾，為研究動機一。

語言包含聽、說、讀、寫四種形式，寫字能力是學習知識過程的重要能力，國家教育研究院於 2018 年發布十二年國民基本教育課程綱要針對國語文之學習表現分為聆聽、口語表達、標音符號與運用、識字與寫字、閱讀與寫作，當中的「識字與寫字」對於肢體障礙學生是不斷練習也難以達成的標準，依據教育部於 2010 公布《特殊教育課程教材教法及評量方式實施辦法》，及依十二年國民基本教育該領域課程綱要之規範規劃課程（教育部，2019）實施規範，調整學習歷程、內容、環境或評量。教師對於握筆有困難或手部力量有限的學生，可提供較粗的鉛筆或易於抓握的筆等器具，例如：使用握筆器、提供有輔助格線的紙張（吳玉珍、楊淑蘭，2006；鈕文英，2008），讓手部精細動作弱者，因粗柄握筆等書寫輔具減輕其書寫負擔。肢障者寫字侷限有差異性，需個別化調整，求學生涯常有書寫表現相關的困境，為研究動機二。

3D 列印技術不需開模就能依照設計直接製作樣品，採層層堆疊的加法製作，降低傳統減法製造浪費原料的問題（吳顯東，2013），使用 3D 繪圖軟體在電腦中先作出 3D 模型圖檔，再利用 3D 印表機印出立體成品，可以依照使用者的需求作調整，迅速製作出客製化的產品，是研究動機三。

因此，藉由 3D 列印能快速製成產品又有少量且客製化的特性、脊髓性肌肉萎縮症於寫字時常受限制，與其於書寫輔具使用要個別化的調整不謀而合，基於以上三點動機進行本研究。

二、研究目的

本研究目的為個別化設計發展 3D 列印握筆器，探討脊髓性肌肉萎縮症學生抄寫功能表現。分為抄寫速度和抄寫品質二部分；特定目標為：

1. 建立 3D 列印技術製作握筆器之個別化設計與發展；
2. 探討脊髓性肌肉萎縮症學生使用 3D 列印握筆器抄寫速度之成效；
3. 探討脊髓性肌肉萎縮症學生使用 3D 列印握筆器抄寫品質之成效。

貳、研究相關之文獻探討

研究架構與理論基礎，共分三點探討：

一、脊髓性肌肉萎縮症的簡介與對學習與生活之影響

（一）脊髓性肌肉萎縮症的簡介

脊髓性肌肉萎縮症（spinal muscular atrophy，簡稱 SMA）為神經系統罕見疾病，依發病時間點、預後及嚴重程度，分為四種類型，從可以自主行走到仰賴輪椅移行，甚至是需呼吸器輔助生活，但都有呼吸系統、肢體相關問題（衛生福利部，2018；Cure SMA, 2018）；年齡與肌肉受損程度呈正向關係，導致漸進肌肉功能衰退，造成關節攣縮變形，須靠支架輔助或輪椅輔具代步，在運動、移行等有障礙嚴重影響生活與學習（社團法人台灣脊髓肌肉萎縮症病友協會，2001），發生率約為 1/10,000 (Berger et al., 2003; Ogino & Wilson, 2002)。

（二）脊髓性肌肉萎縮症對學習表現之影響

學習是藉由透過思考、經驗以及感覺獲得知識的過程。脊髓性肌肉萎縮症不影響負責認知的神經元，故患有脊髓性肌肉萎縮症的學生智力正常，只要適當的復健延緩疾病進展，增加於成長、學習歷程的多元；又因不同類型的脊髓性肌肉萎縮症學生在肌肉能力的差異，以致其亦有抄寫困難的問題：字形比例不一、字形錯誤、抄寫時注意力速度慢、抄寫力道過重、握筆方式不良、擦拭塗抹困難等；因此，這些學生學習表現和發展更需要特殊教育中提供的調整，藉由教學情境與輔具的個別化設計，對於提升脊髓性肌肉萎縮症學生在學習表現及課程參與為重要關鍵（李安世，2006；李瑩玓，2004；周宜璟，2006；陳秀芬、洪儷瑜、陳慶順，2008；陳素珍、蘇本華、陳家玉，2011）。

（三）脊髓性肌肉萎縮症者使用科技性輔助器具對日常生活之影響

脊髓性肌肉萎縮症從可自主行走到仰賴輪椅移行，甚至是需呼吸器輔助生活，靠近身體中心的肌肉，如：肩膀、大腿以及骨盆可能會漸漸地肌肉無力 (Wang, Yang, & Jong, 2002)，影響頭部控制、坐正、爬行、走路，下肢又比上肢嚴重，下肢逐漸無力並萎縮，進而造成多處關節攣縮、變形，行走的能力也會慢慢喪失、上肢近軀幹端大關節的肌肉也會受到影響手無法舉高、梳頭髮等有困難，雖然手部的細動作尚保留，但會顫抖與無法過度施力，影響自我照顧能力（劉旻宜，2011；衛生福利部，2017；Cure SMA, 2018）。脊髓性肌肉萎縮症學生在教室內靜態學習情境需要不同的協助，可以提供握筆器、握筆架等書寫輔具；市售握筆器各自皆廣告強調產品能增加寫字速度、矯正不正確的握筆及運筆姿勢、提升書寫品質、降低手部疲勞、幫助孩子練習正確使用筆等優點（允拓材料科技股份有限公司，2014；トンボ鉛筆／トンボえんぴつ Tonboenpitsu，2017；The Pencil Grip Inc., 2012），卻缺乏實證研究，因此，更凸顯本研究的重要性。

脊髓性肌肉萎縮症學生補償手部抓握的功能，改善書寫的困難，需要高科技輔助，如：文字預測系統、中文語音辨識系統等；及低科技輔助，如：傾斜的桌板、特殊大尺寸鍵盤、加保護框鍵盤、放大格子的紙和立體格線的紙和握筆器、改裝、加重的筆，促進書寫的獨立性；由個別化的握筆器改善抄寫功能表現，提高手寫數學式的可能，配合相關學習、行動及溝通輔具的提供，讓上肢控制不良與肌肉萎縮症學生可以在校順利學習、成長，學習輔具主要是增加學生就學的獨立性、提高學習品質（全國特殊教育資訊網，2017；洪瑞成、連盈捷、陳立青，2008；梁明華，2010）。

二、3D 列印的相關應用研究

3D 列印具有能個別化設計模型的特點，美國國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration，簡稱 NASA）投注大量經費研發食物列印機，試圖解決太空人於外太空的飲食問題 (Ngo, Kashani, Imbalzano, Nguyen, & Hui, 2018)。臨床上將 3D 列印成功運用於氣管支架、骨科，密西根大學以生物可吸收的生醫材料，製成可置放嬰兒體內的氣管支架；透過影像掃描技術取得患者骨骼之原型，使用軟體重建頭蓋骨的立體形狀，再使用 3D 列印機將缺損處列印出，製造出正確的立體人工骨或鈦合金頭蓋骨，修補頭蓋骨的缺損；口腔癌的病人，術後會大範圍下顎骨缺損，顏面變形及上下牙齒咬合異常，可在手術前先掃描病人的下顎骨，再用 3D 列印出的下顎骨就可以當作模板（廖漢聰，2017；Yue et al., 2015）。

3D 列印依材料不同成品有材質差異的特性，可抗菌又能供列印使用的新型光固化樹酯材料，當唾液塗抹在新型光固化樹酯印製的物品上，結果發現唾液中造成蛀牙及牙周病的細菌變形鏈球菌都被殲滅，這原料可用於製作部分的牙齒、矯正器，更延伸用於牙膏。3D 列印「個別化藥物劑量」，能夠在尺寸、劑量、外觀和藥物製成速度實現「智慧型」設計，以滿足患者藥物個別化但不同劑量的需求 (Aquino, Barile, Grasso, & Saviano, 2018; Norman,

Madurawe, Moore, Khan, & Khairuzzaman, 2017)。

3D 列印的教具發展促使視障學生能獲得較高品質的教育，在課程中的歷史、地理課，提供 3D 列印機製作的觸覺教學教具，和特製調整印製不同大小的點字，能讓學生用自己的雙手獨立探索 3D 教材，藉由手的觸覺感受歷史圖片、地圖或文物等，以自身的想像去瞭解課 程 (Kostakis, Niaros, & Giotitsas, 2015; Jo et al., 2016)。

中風或腦麻患者藉由穿戴在手上的輔助活動裝置，增加手部活動度，多發性關節攣縮症則會因病情惡化導致雙手無法舉起，需量身打造輕巧的外用骨骼，使其生活品質提高；3D 列印產品依據不同線材材料，印出不同軟硬程度的成品，製成彈性材質的特殊鞋墊，以減低患者腳底壓力（張瑞昆，2017；梁文隆，2017；Schelly, Anzalone, Wijnen, & Pearce, 2015）。

輔具的使用者對「量身定做」需求高，3D 列印免除了開模的費用，可嘗試、設計、製作出個別化輔具；比傳統的開模製作更能個別化解決使用者功能的問題，又能根據特定需求單獨進行 3D 列印，技術普及會有更多的 3D 列印輔具被產出，讓需要輔具的使用者能使用個別化輔具來促進生活的獨立。

三、抄寫功能表現評估工具之介紹

寫字能力可分為下列三項能力：（一）感覺能力分為本體覺、運動覺、視知覺；（二）神經肌肉能力分為姿勢控制、平衡與肌肉張力；（三）動作能力分為兩側整合、視覺動作整合、動作計畫、精細動作與協調靈敏度。寫字速度與可讀性呈低相關，因寫字是知覺動作、高階心智執行功能、握筆及手指精細等整合能力，而本研究只探討抄寫的能力表現（林鋐宇，2005；許秀菊，2005；陳添球，2000；陳達德，2007；曾于倫，2005）。長時間握筆書寫，會造成精細肌肉酸痛，而握筆姿勢的不同，會導致手臂肌肉程度不一的能量消耗，負責寫字穩定度肌肉的發展會影響其寫字技巧（高百均，2002；許秀菊，2005；陳達德，2007；盧瑞琴等人，2002）；判斷學生抄寫能力的四項觀察指標如表 1（林鋐宇，2005；Tseng & Chow, 2000）。

表 1
觀察抄寫能力的參考指標

觀察之指標	應注意之問題處	觀察之具體內容
字體正確性	筆劃的問題	增添或疏漏的筆劃
	字型的問題	書寫字型錯誤或外型相近的錯字
	結構的問題	字體上下顛倒或左右相反
字體可讀性	字體內的結構問題	部首或部件散開或顛倒相對位置
	字體間連貫的問題	字體與字體重疊或間距不一致、字體超出格線
抄寫速度	每秒、分抄寫的狀況	每秒抄寫 1.18 畫國字
抄寫姿勢	整體書寫姿勢	坐姿擺位
	握筆姿勢	筆桿與桌面約成 60 至 70 度

表 1 的參考指標內容可知，字體可讀性及抄寫姿勢較屬於主觀評斷，因此，本研究藉由系統化的軟體設備，如：光學字元辨識（optical character recognition，簡稱 OCR），提供字體正確性數據分析，OCR 辨識手寫字體最高可達至九成以上（李彩雲，2010；沈宜璇，2011；章

美蘭，2015；蔡孟竹、曾元顯，2003），故依 iOS 系統的 Apple Store 搜尋免費且使用者滿意度前三高之「OCR」應用程式，依照排名順序分別為：掃描全能王、掃描翻譯大師、掃描器和譯者，將此三者分別掃描共同的「國小國語四下翰林第九課快樂王子」直式文本、現職特教老師手抄直式「國小國語四下翰林第九課快樂王子」文本的筆跡，以上內容之成效彙整於表 2，據此選出正確率較高者為研究工具之一。

由於本研究的施測文稿是直式，故不採用「掃描全能王」；其他兩項軟體則橫式與直式文本皆可分析，掃描手抄文本的正確率以「掃描器和譯者」較高；但考量施測、使用的效率，「掃描翻譯大師」能免費且無限制的重複使用。因此，本研究以「掃描翻譯大師」列為判別抄寫品質之研究工具，其可以將研究參與者的手寫字跡筆記藉著掃描數位化，辨識出手寫文字，紀錄可辨別之字數。

表 2
使用者滿意度排名前三名的 OCR 應用程式

應用程式	可分析格式	費用	是否需連接網路	印刷文本正確率	手抄文本正確率
掃描全能王	僅橫式的文本	免費下載	無需連接網路	無法測量	無法測量
掃描翻譯大師	橫式與直式的文本	免費下載	需連接網路後轉至谷歌翻譯軟體	100%	94%
掃描器和譯者	橫式與直式的文本	免費下載、僅能使用五次免費掃描服務	需連接網路	100%	95%

另一工具為洪儷瑜、張郁雯、陳秀芬、陳慶順、李瑩玓（2017）編製的「基本讀寫字綜合測驗」，該測驗之用字採自國立編譯館統計「國民小學常用字彙研究」資料庫中，在國小第一冊到第六冊曾出現過的中文字，篩選出頻率最高者納入基本讀寫字綜合測驗，內部一致性係數均在 .87 以上，折半信度均在 .90 以上，重測信度在各分測驗上除「聽詞選字」、「看字讀音」外，均達 .05 顯著水準（陳秀芬等人，2008）。

臺灣目前寫字相關常模，只到國小階段，缺少國小以上的數值，沒有成人的常模，所以選擇基本讀寫字綜合測驗為主要測驗工具，透過抄寫速度、品質評量其在抄寫、寫字表現以此評量學生的能力表現，並透過相關輔具，如：3D 列印之個別化握筆器改善抄寫品質，促使有書寫相關需求之學生能有更高之學習參與（吳雅婷、巫宗蓉、何配珍，2000；張麗蓮，2017）。

參、研究方法

脊髓性肌肉萎縮症為罕見疾病且症狀的差異性特質，故本研究採用單一個案研究法（single-case research，簡稱 SCR）之跨行為多基線設計，比較使用握筆器前後兩種狀況的介入效果為何，探討脊髓性肌肉萎縮症學生運用 3D 列印握筆器之功能表現。

一、研究設計

（一）自變項

本研究的自變項為 3D 列印握筆器，形成 3D 列印握筆器主要實施步驟包括：

1. 測量研究參與者之指圍

由於脊髓性肌肉萎縮症手部會顫抖、肌力不足，無法固定擺出某姿勢過久，故利用卷尺測量常用的筆圍、參與者食指、大拇指之指圍與握筆狀況下兩指距離，取代以 3D 掃描器取得模型。

2. 3D 列印繪圖軟體設計個別化握筆器

把研究參與者的數據，如：手指圍、兩指寬、握筆角度，以 3D 列印設計軟體繪製出三款握筆器模型，A 型握筆器為國立陽明大學改良款握筆器（陳振昇研究室，2020）、B 型握筆器為雙側款握筆器、C 型握筆器為單側款握筆器。

3. 轉檔輸至 3D 列印機列印握筆器

把繪製完成之 3D 列印握筆器模型圖轉為可列印檔案類型，經由 3D 列印機印製出成品。

4. 研究參與者試寫與調整

將印製完成之握筆器請研究參與者試寫，並觀察使用狀況、訪談使用者感受，如：筆套之寬度大小改變、握筆器之外型設計等，綜合以上建議反覆個別化改善。

5. 美化握筆器成品

成功設計出符合研究參與者之 3D 列印握筆器後，詢問其想法將握筆器美化，增加使用意願。

（二）依變項

針對完成之 3D 列印握筆器整理相關參數資料，以建立個別化握筆器印製之設計與發展流程；將研究參與者在使用 3D 列印握筆器的抄寫表現，紀錄數據於「近端抄寫與抄短文測驗」上，以探討介入成效。

（三）控制變項

1. 3D 列印握筆器製作

3D 列印成品設計、施測紀錄觀察者皆由研究者本人完成，在實驗執行階段，邀請研究參與者於實驗室進行手部測量、取模；並透過繪圖軟體繪製握筆器後，利用 3D 列印機印製握筆器，此階段所需時間約兩小時，但依照設計之造型，所費時間可能有半小時之增減，如圖 1。

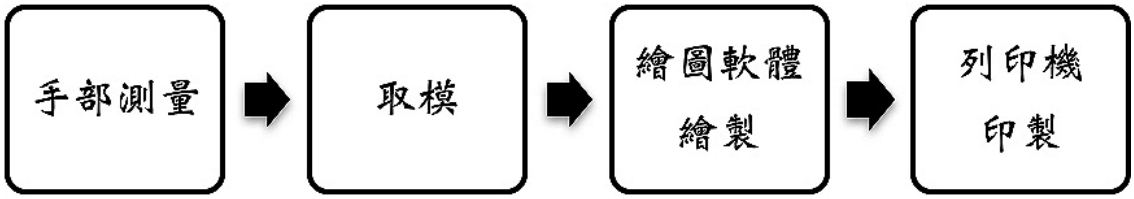

圖 1　3D 列印成品設計步驟

2. 施測評量時間

施測時間為 2019 年 4 月至 5 月，每週三次、每次進行兩次至三次介入測驗，每次都固定上午十點及下午一點、四點施測，每次介入間隔至少兩小時，確保其有充分休息。施測順序是固定都先施測兩分鐘的近端抄寫測驗後，休息兩分鐘，再進行五分鐘的抄短文測驗，握筆器使用的順序是固定先 A 型再 B 型而後 C 型，故測驗時間於基線期、介入期都花費約莫十分鐘。圖 2 為實驗流程。

階段測量	基線期					介入期																	
次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
A 型握筆器	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
B 型握筆器	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C 型握筆器	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

註：基線期（使用市面上販售的握筆器）、介入期（使用 3D 列印握筆器，其中，分別是 A：國立陽明大學改良款、B：雙側款、C：單側款）

圖 2　實驗流程

（四）研究設計

本研究之研究對象為脊髓性肌肉萎縮症，是人數較少之罕見疾病，故本研究採用適用於異質性高、樣本少的單一個案研究法。

1. 基線期

正式研究參與者以其曾使用過的市售握筆器於自然情境下書寫，藉由該市售握筆器搭配平時慣用的筆來完成「近端抄寫與抄短文測驗」，主要針對參與者進行基線期之能力現況資料蒐集。

2. 介入期

當基線期資料蒐集結束時，進入介入期，平時研究參與者都沒有使用握筆器，僅於介入期評估的期間，研究參與者使用 3D 列印握筆器進行書寫，藉由「近端抄寫與抄短文測驗」評估成效。研究設計如圖 3。

A 基線期	B 介入期
使用市販握筆器	
	情境一：使用 A 型 3D 列印握筆器
	情境二：使用 B 型 3D 列印握筆器
	情境三：使用 C 型 3D 列印握筆器

圖 3　研究設計：跨行為多基線設計圖

二、研究參與者

取樣方式為立意取樣，參與者以就讀某大專院校之脊髓性肌肉萎縮症學生，本人有意願參與本研究，得到家長同意，以下為研究參與者之篩選、排除標準及其相關背景資料描述。

（一）研究參與者篩選

1. 經醫院確診罹患脊髓性肌肉萎縮症。
2. 經衛生福利部「身心障礙鑑定及需求評估制度」領有新制身心障礙者手冊，並擁有教育鑑定證明肢體障礙之患者。
3. 抄寫有困難的大專院校學生。
4. 認知正常，避免在進行測驗評量與接受指導語的指令時有困難。

（二）研究參與者排除標準

1. 無法書寫者。
2. 具有觸覺防衛者。
3. 視及聽覺功能受損而無法接受評量測驗。
4. 有合併其他障礙之多重障礙者。

（三）研究參與者簡介

研究對象為就讀某大專院校之脊髓性肌肉萎縮症學生，領有肢體障礙的特殊教育鑑定證明，醫療診斷是脊髓性肌肉萎縮症。抄寫困難包括握筆費力係將筆置於食指與無名指之間，並以食指及無名指兩處施力夾緊、大拇指輔助運筆之方式握筆；也因抄寫時穩定度低，因此平時大考期間都申請延長十五分鐘考試時間，才能完成原本四十分鐘即可完成之考試，抄寫速度低於基本讀寫字綜合測驗之國小二年級常模；目前抄寫的字型尚可辨別。

三、研究工具

使用的工具，包括 3D 列印機與線材、3D 列印繪製軟體以及評量工具「基本讀寫字綜合測驗」、「掃描翻譯大師」：

（一）3D 列印機與列印線材、3D 列印繪製軟體

3D 列印機種為創想三維公司生產的 Creality 系列「CR-8 標準型」，是常見之桌上型 3D 列印機，印製範圍為 210 mm ×210 mm ×210 mm，本研究使用 Ultimaker 的 Cura 完整支援繁體中文的 3.4.1 版切片軟體。線材為聚乳酸（Polylactic Acid，簡稱 PLA）材料，由於 PLA 環保且無毒無臭，適合研究使用、3D 列印相關軟體包括 Tinkercad、切片軟體 Cura 3D Slicing software 等 (I.materialise, 2015)。

（二）評量工具「基本讀寫字綜合測驗」

近端抄寫與抄短文補充測驗評量學生在不同情境中抄寫成果，本研究欲了解近端抄寫，觀察是否在計時兩分鐘內完成 25 字的抄寫，以評量學生的抄寫能力表現；抄短文測驗則是計時五分鐘內所寫篇幅長短。

測驗結束後，依照測驗的分析解釋，若個案未能在時間限制內完成，則讓其抄寫完所有文字，以花費之所有秒數紀錄比較每次完成測驗之秒數是否有進步；若個案能在時間限制內完成，則可以其抄寫之正確字數，除以所費之時間秒數再乘以六十，紀錄一分鐘抄寫字數。本研究之參與者皆無法於規定的時間內完成測驗，故紀錄測驗秒數換算抄寫速度。

（三）評量工具「掃描翻譯大師」

抄寫品質的部分，以光學字元辨識 (OCR)「掃描翻譯大師」，經由掃描器將研究參與者的手寫文字辨識出，以其可辨別字體之字數除以所手寫文字總字數，即可得知手寫字辨識度。

四、研究實施程序資料處理

探討蒐集基線期、介入期兩階段的握筆器的抄寫表現數據後，分析實驗執行階段資料，包括視覺分析及 C 統計。通過倫理審查核可證明書編號 201810HS017。

肆、結果與討論

一、3D 列印握筆器之個別化設計發展流程

研究者設計發展握筆器流程，3D 列印握筆器印製實施步驟：

（一）測量研究參與者之指圍

由於研究參與者手部會顫抖，無法固定擺出某姿勢過久，故將其慣用手右手置於桌面，

利用卷尺測量常用的筆圍、參與者食指之指圍、大拇指圍與握筆狀況下兩指距離，取得研究參與者的數據。

（二）3D 列印繪圖軟體設計個別化握筆器

開啟 Tinkercad 網站登入後，開始繪製模型，脊髓性肌肉萎縮症學生手部的細動作會因顫抖與無法過度施力影響抄寫動作，因此本研究之握筆器設計主要是提供其抄寫的穩定性，藉由中空圓柱體為基礎繪出拇指配套處，提供參與者握筆時的支撐點及把所測得之數據，如:手指圍、兩指寬、握筆角度等，輸入所繪圖型，將此建立 3D 列印握筆器模型，另存成 STL 檔案。

（三）轉檔輸至 3D 列印機列印握筆器

把繪製完成之 3D 列印握筆器 STL 檔案轉為可列印之檔案類型，經由 Cura 3D Slicing software 設定列印參數，轉存為 gcode 檔後，放進 CR-8 列印出成品。

（四）美化握筆器成品

設計出符合參與者之 3D 列印握筆器後，詢問其意見並美化，增加使用意願。

二、研究參與者 3D 列印握筆器與施測過程記錄

用卷尺測量常用筆圍是 40mm 即直徑 13mm 的圓柱體、食指之指圍為 50mm，指節長度 27mm、大拇指指圍為 50mm，指節長度 24mm 與握筆狀況下兩指距離 23mm，繪出 3D 列印握筆器。紀錄握筆器的列印時間、Cura 切片軟體主要參數、配戴情形、調整方向。

（一）3D 列印握筆器：A 型

卷尺測量研究參與者常用的筆圍是 40mm 即直徑 13mm 的圓柱體，由此得知置筆處應為直徑大於 13mm 的置筆環設計，設計厚度 2.5mm，直徑 18mm、長度 20mm 的圓柱體為置筆環；A 型握筆器參照陽明大學團隊設計握筆器，以包覆性佳的設計：厚度 4mm、手掌寬度 60mm、長度 80mm 的圓弧造型；參與者大姆指指圍為 50mm 即直徑約 16mm 的圓柱體，指節長度 24mm，得知大姆指套入處為直徑大於 16mm 的圓柱，設計厚度 5mm，直徑 26mm、長度 26mm 圓柱體大姆指套入環。繪製完成 A 型握筆器模型 STL 檔案轉經由 Cura 3D Slicing software 設定列印參數後，轉存為 gcode 檔放進 CR-8 列印機，室溫 26 度下印製兩小時十六分印出成品。將重量 16 克之 A 型握筆器提供研究參與者使用，發現其大姆指無法完全貼合，但不會影響使用，因此，A 型握筆器為介入期使用之握筆器。

（二）3D 列印握筆器：B 型

參與者表示不習慣書寫時筆被固定、有綁帶影響，故延續 A 型握筆器設計，將其改良為不需綁帶固定、設計提供筆支撐的款式，設計厚度 2.5mm，直徑 18mm、長度 27mm 的圓柱體為置筆環切除二分之一僅提供筆支撐；參與者食指之指圍為 50mm 即直徑約 16mm 的圓柱體，指節長度 27mm，得知食指套入處為直徑大於 16mm 的圓柱，設計厚度 3mm，直徑 26mm、長度 18mm 的圓柱體切出三分之二，保留三分之一為食指套入環，供握筆時支撐；大姆指之指圍為 50mm 即直徑約 16mm 的圓柱體，指節長度 24mm，大姆指套入處應為直徑大於 16mm 的圓柱，設計厚度 3mm，直徑 24mm、長度 20mm 的圓柱體為大姆指套入環，向右轉 10 度符合握筆角度；握筆兩指距離 23mm，將食指套入環、大姆指套入環的厚度扣除，兩環距離分開置於相距 14.5mm 處為連接設計，置筆環為與平面夾角角度 60 度。

（三）3D 列印握筆器：C 型

參與者表示平時書寫時有食指用力夾筆而費力的狀況，故接受使用者之需求：將 B 型握筆器的大姆指套入環改為切出三分之二，保留三分之一的圓柱體、還原厚度 2.5mm，直徑 18mm、長度 27mm 的圓柱體置筆環，其餘角度與 B 型握筆器無異。將重量 6 克之 C 型握筆器第一代提供研究參與者使用，發現其大姆指無法適應被支撐的感受，要求先移除大姆指套入環以熟悉使用；故 C 型握筆器第二代直接刪除 C 型握筆器第一代的大姆指套入環，但置筆處過長故將其縮短 2mm，且提供食指支撐處使其寫字舒適感提升。

經由數次調整後，以下簡述三款握筆器之特色：

1. A 型握筆器：以包覆性佳、具綁帶固定手部的設計為特色，增加其握筆穩定度。
2. B 型握筆器：不需綁帶固定手、提供筆支撐且固定手指的橢圓形款式，解決其握筆的問題及運筆時被約束感。
3. C 型握筆器：不需綁帶固定手、固定置筆處且僅提供食指支撐的指形樣式，使其握筆省力又將書寫時之被約束感降為最低。

為增加其使用意願，經詢問其偏好顏色為草綠色後予以美化，剛好 A 型握筆器線材即為草綠色，故毋須特意上色，B、C 型握筆器著色後如圖 4 所示。

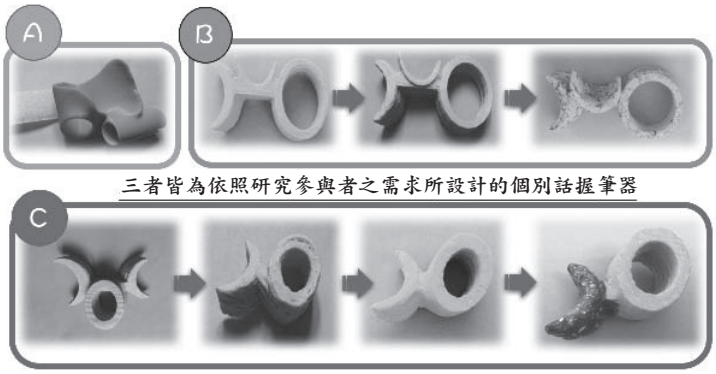

圖 4　A、B、C 型握筆器調整歷程

三、脊髓性肌肉萎縮症學生使用 3D 列印握筆器之抄寫速度表現結果分析與討論

本段為說明使用市售握筆器及三種個別化 3D 列印握筆器在抄寫速度之結果，分別進行折線圖分析、階段視覺分析與 C 統計。參與者未能在測驗時間限制內完成，則紀錄每次完成測驗之秒數，換算抄寫速度是否進步，以「近端抄寫測驗」、「抄短文測驗」分別說明。

（一）研究參與者於近端抄寫測驗之抄寫速度分析與討論

三款個別化 3D 列印握筆器之抄寫速度如圖 5：

1. A 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化為正向，階段間水準變化為 -32，重疊率為 0%，平均水準變化為 -34.1。使用 A 型握筆器水準穩定度與走勢穩定度為 100%，代表此階段趨勢無明顯變化；基線期和介入期階段間的 *z* 值為 3.27，達 .01 顯著水準，代表 A 型握筆器近端抄寫測驗之抄寫速度有顯著變化、介入是有效果。

2. B 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 -28，重疊率為 0%，平均水準變化為 -30.3。使用 B 型握筆器 C 統計在基線期的 *z* 值為 -0.42，未達顯著水準，但水準穩定度與走勢穩定度為 100%，代表此階段趨勢並無明顯變化，基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.06，達 .01 顯著水準，代表 B 型握筆器近端抄寫測驗之抄寫速度有顯著變化、介入是有效果。

3. C 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 -8，重疊率為 0%，平均水準變化為 -45.1。使用 C 型握筆器 C 統計在基線期的 *z* 值為 -0.87，未達顯著水準，但水準穩定度與走勢穩定度為 100%，呈穩定不佳等速趨勢狀態，代表此階段趨勢並無明顯變化，基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.42，達 .01 的顯著，代表使用 B 型握筆器近端抄寫測驗之抄寫速度有顯著變化、介入有效果。

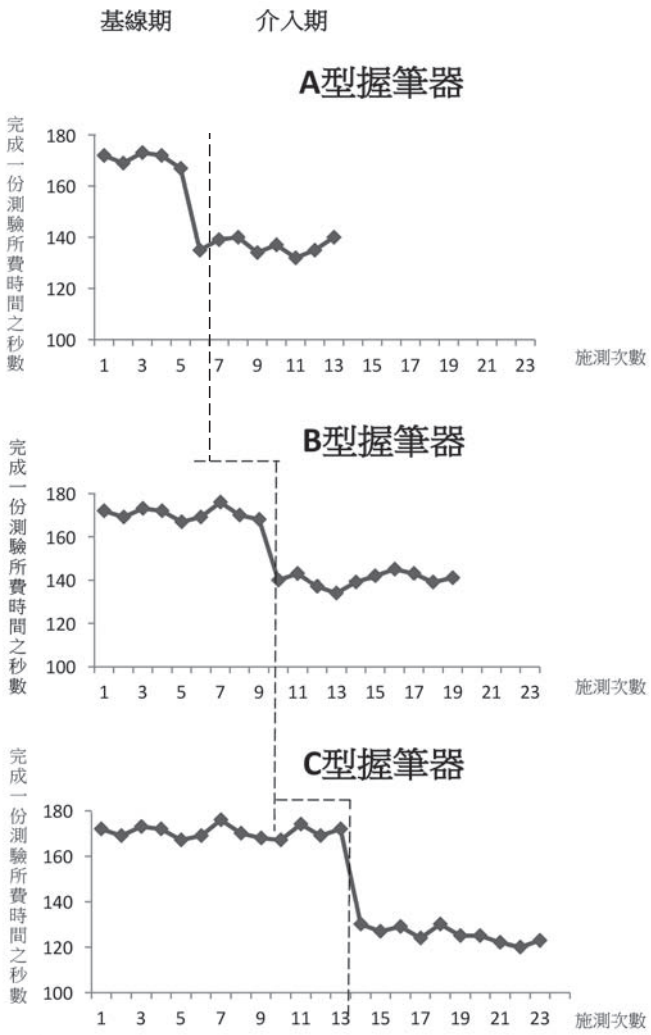

圖 5　近端抄寫測驗之抄寫速度折線圖

（二）參與者於抄短文測驗之抄寫速度分析，三款個別化握筆器抄寫速度如圖 6：

1. A 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 -35，重疊率為 0%，平均水準變化為 -57.3。在基線期的 *z* 值為 1.47，未達顯著水準，其水準穩定度與走勢穩定度為 100%，表現呈穩定不佳等速趨勢狀態，代表此階段趨勢並無明顯變化；基線期和介入期階段間的 *z* 值為 3.44，達 .01 的顯著，代表使用 A 型握筆器後，其抄短文測驗之抄寫速度有顯著變化、介入有效。

2. B 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 -89，重疊率為 0%，平均水準變化為 -100.6。在基線期的 *z* 值為 1.60，未達顯著水準，其水準穩定度與走勢穩定度為 100%，表現呈穩定不佳等速趨勢狀態，代表此階段趨勢並無明顯變化，基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.20，達 .01 的顯著，代表使用 B 型握筆器後，其抄短文測驗之抄寫速度有顯著變化、介入是有效果。

3. C 型握筆器

基線期的 *z* 值為 1.67，達 .05 的顯著水準，這代表使用市售握筆器在抄短文測驗之抄寫速度已有明顯的變化，而基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.57，則有達 .01 的顯著，這代表使用 C 型握筆器後，抄短文測驗之速度有顯著變化、介入有明顯效果。

經由近端抄寫測驗、抄短文測驗評估，得知研究參與者於使用握筆器的抄寫速度表現結果，無論使用 A 型、B 型或者 C 型握筆器所抄寫速度都比使用市面上販售握筆器快，其中又以 C 型握筆器速度更有正向變化。

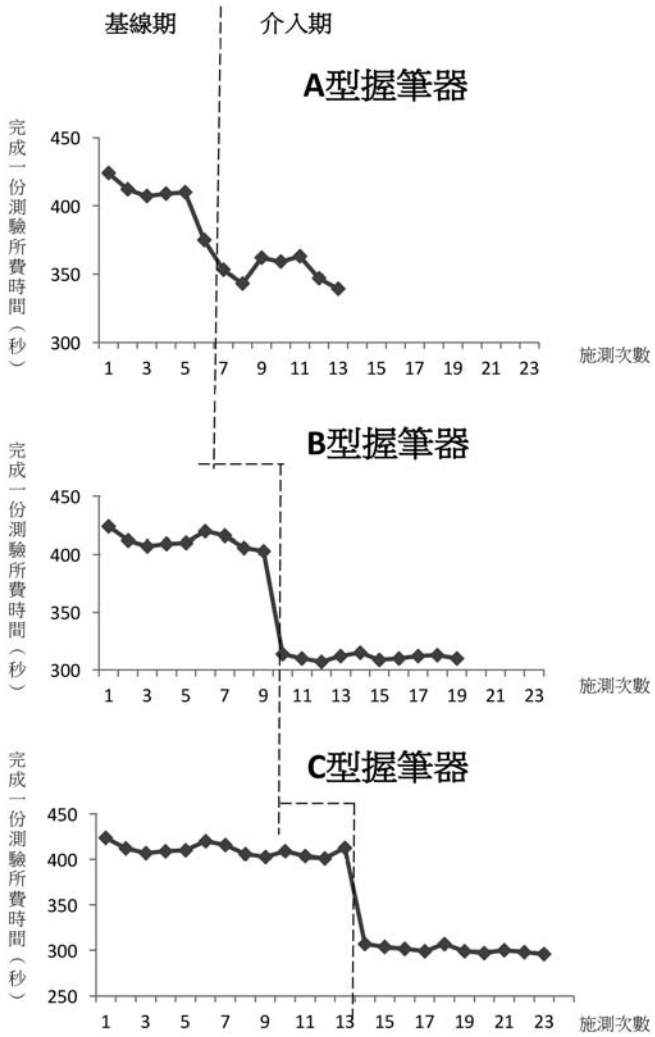

圖 6　研究參與者於抄短文測驗之抄寫速度折線圖

四、脊髓性肌肉萎縮症學生使用 3D 列印握筆器之抄寫品質表現結果分析

使用市售握筆器及三種個別化 3D 列印握筆器在抄寫品質之研究結果，進行折線圖、階段視覺分析與 C 統計。將手寫文字掃描至「掃描翻譯大師」，經由其可辨別字體之字數除以所手寫文字總字數，即手抄寫正確率，以「近端抄寫測驗」、「抄短文測驗」說明。

（一）研究參與者於近端抄寫測驗之抄寫品質分析與討論

使用市售握筆器及三種個別化握筆器近端抄寫測驗抄寫品質之結果如圖 7：

1. A 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 24，重疊率為 0%，平均水準變化為 25.05。基線期的 z 值為 -0.70，未達顯著水準，但其水準穩定度與走勢穩定度為 100%，表現呈穩定不佳等速趨勢狀態，代表此階段趨勢無明顯變化，基線期和介入期階段間的 z 值為 3.27，達 .01 的顯著，這代表使用 A 型握筆器後，其近端抄寫測驗之抄寫品質有顯著變化、介入是有效果。

2. B 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 31，重疊率為 0%，平均水準變化為 34.7。基線期的 z 值為 -0.22，未達顯著水準，基線期和介入期階段間的 z 值為 4.19 達顯著，代表使用 B 型握筆器後，其近端抄寫測驗之抄寫品質有顯著變化、介入是有效果。

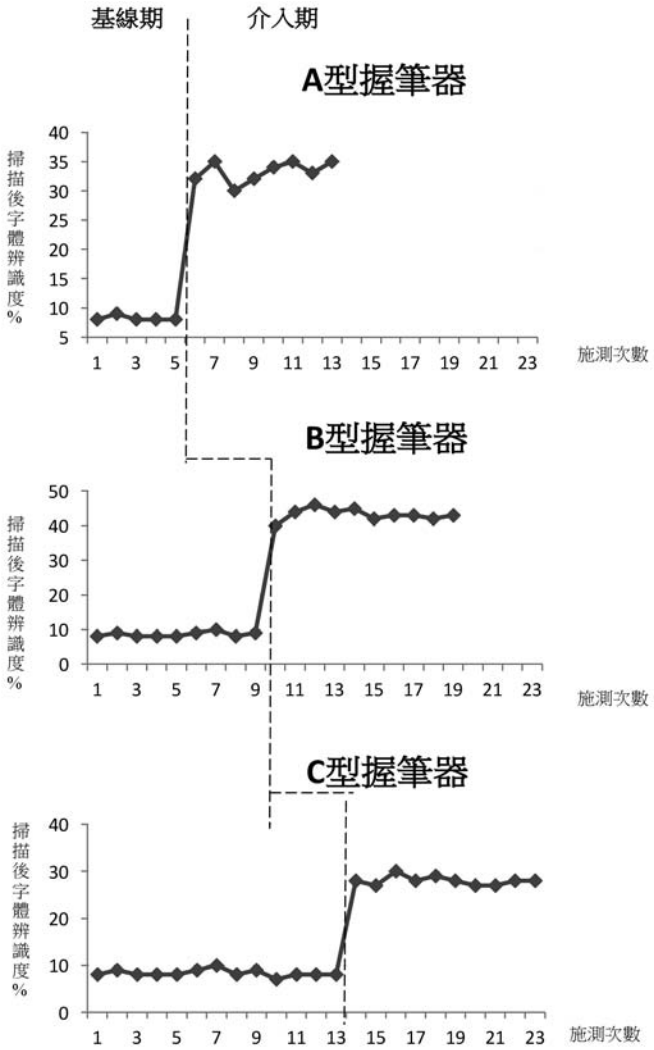

圖 7　研究參與者於近端抄寫測驗之抄寫品質折線圖

3. C 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 20，重疊率為 0%，平均水準變化為 19.7。比起市售握筆器，C 型握筆器對研究參與者在近端抄寫測驗之抄寫品質的表現，更有立即成效。參與者的 C 統計在基線期的 *z* 值為 -0.13，未達顯著水準，基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.52，達顯著水準，代表使用 C 型握筆器後，其近端抄寫測驗之抄寫品質有顯著變化、介入是有效果。

（二）研究參與者於抄短文測驗之抄寫品質分析與討論

使用市售握筆器及三種個別化 3D 列印握筆器在抄短文測驗抄寫品質之結果如圖 8：

1. A 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 25，重疊率為 0%，平均水準變化為 23.95。基線期的 *z* 值為 0.30，未達顯著，其水準穩定度 40% 與走勢穩定度為 80%，表現呈穩定的不佳等速趨勢狀態，代表此階段趨勢並無明顯變化，基線期和介入期階段間的 z 值為 3.18，達 .01 的顯著，這代表使用 A 型握筆器後，其抄短文測驗之抄寫品質有顯著變化、介入是有效。

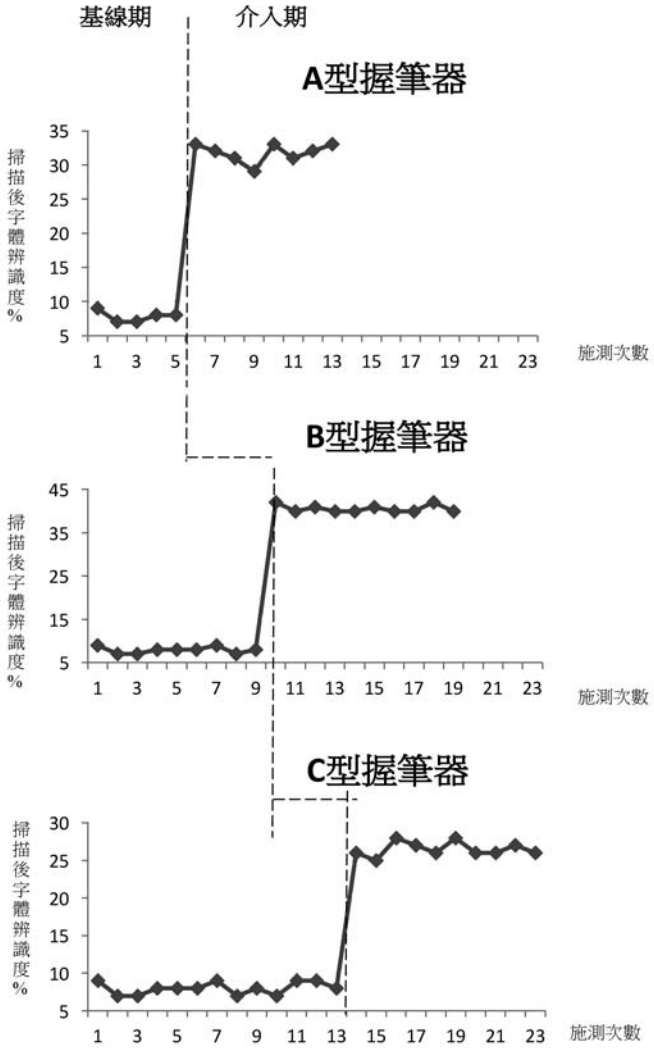

圖 8　研究參與者於抄短文測驗之抄寫品質折線圖

2. B 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 34，重疊率為 0%，平均水準變化為 32.8。基線期的 *z* 值為 -0.42，未達顯著，基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.06，達 .01 的顯著，代表使用 B 型握筆器後，其抄短文測驗之抄寫品質有顯著變化、介入有效果。

3. C 型握筆器

基線期進入介入期，趨向變化與效果無變化，階段間水準變化為 18，重疊率為 0%，平均水準變化為 18.5。基線期的 *z* 值為 -0.24，未達顯著水準，而基線期和介入期階段間的 *z* 值為 4.54，則有達 .01 的顯著，這代表使用 C 型握筆器後，其抄短文測驗之抄寫品質有顯著變化、介入是有效果。

經由近端抄寫測驗、抄短文測驗評估，得知研究參與者於使用握筆器的抄寫品質表現結果，無論使用 A 型握筆器、B 型握筆器或者 C 型握筆器所抄寫的字體正確度、字體辨識度都比使用市面上販售握筆器者高，抄寫之品質以 B 型握筆器對其更有助益。

五、A、B、C 型三款握筆器之抄寫效率

藉由三款握筆器的使用，分別以研究參與者的回饋、判斷三款個別化握筆器之表現進行分析：

（一）研究參與者的主觀感受：使用三款握筆器施測結束後，詢問研究參與者使用感受，讓其從中擇一作為日後使用，而研究參與者的選擇為「C 型握筆器」，研究參與者認為該款使用舒適且抄寫速度最快，較符合其日常需求。

（二）三款握筆器抄寫效率分析：在近端抄寫測驗、短文抄寫測驗兩者的表現分別說明其抄寫效率，同時，考量其抄寫所費時間跟字體辨識度，藉由「平均之可辨識度」除以「平均花費時間」計算出其抄寫的效率，如表 3、表 4。

近端抄寫測驗的抄寫效率由大至小，分別：B 型握筆器、A 型握筆器、C 型握筆器；短文抄寫測驗的抄寫效率從高到低：B 型握筆器、A 型握筆器、C 型握筆器。無論是近端抄寫測驗抑或是短文抄寫測驗，結果都顯示抄寫效率最大者為「B 型握筆器」。

表 3
近端抄寫測驗的抄寫效率

	平均之可辨識度 (%)	平均花費時間（秒）	抄寫效率 (%)
A 型握筆器	33.25	136.5	24.35
B 型握筆器	43.2	140.3	30.79
C 型握筆器	28	125.5	22.31

表 4
短文抄寫測驗的抄寫效率

	平均之可辨識度 (%)	平均花費時間（秒）	抄寫效率 (%)
A 型握筆器	31.75	355.1	8.94
B 型握筆器	40.6	311.2	13.04
C 型握筆器	26.5	300.9	8.80

伍、結論

根據結果歸納結論：

一、研究結果與討論

經由本研究之設計發展握筆器流程，以及 3D 列印握筆器印製實施步驟，確實能以 3D 列印技術製作個別化握筆器，進而改善抄寫速度與品質。

（一）3D 列印技術能應用於個別化握筆器之設計與發展

依循著本研究建立出 3D 列印握筆器之個別化設計發展流程五步驟，藉由一次次的設計、製作、調整，無限制的嘗試且不需要太多的成本，即可方便、省時的來達到解決、減少研究參與者在學習上的限制，增加其日常生活參與之獨立性。

（二）脊髓性肌肉萎縮症學生在使用 3D 列印握筆器後，而且有助於提升抄寫速度與改善抄寫品質

洪儷瑜等人（2017）的「基本讀寫字綜合測驗」，當中的近端抄寫與抄短文測驗，評量研究參與者在抄寫的能力表現，從測驗結果得知，透過「基本讀寫字綜合測驗」在抄寫、寫字表現以此評量學生的寫字速度能力，並透過相關輔具，促使有書寫相關需求之學生能有更高之學習成效，由此，3D 列印握筆器是能夠改善脊髓性肌肉萎縮症學生抄寫速度表現。

二、實務應用與建議

研究參與者過去因為於課堂中字體完整度影響考試成績、抄寫速度慢，導致來不及撰寫筆記，而曾試圖經由使用過的市面上販售握筆器協助書寫，但握筆器太大不符使用且在寫字成果未有正向的改善，故個別化設計的握筆器正是研究參與者的需求，而 3D 列印即是能快速製成一個產品又客製化製作的技術。

（一）實務運用

本研究的三款握筆器，皆能依照個別化需求調整，進而解決研究參與者書寫時握筆之被約束感和握筆費力等困難。

藉由研究參與者在「基本讀寫字綜合測驗」的近端抄寫與抄短文測驗中抄寫的表現，依客觀的 OCR 系統辨識手寫字體正確率，發現正確率會因為參與者在施測期間因病徵有顫抖與無法過度施力造成部分手抖情形，導致使用 B、C 型握筆器的基線期走勢穩定度表現呈不穩定影響表現，另外，研究參與者在一日內書寫過多文字，自陳偶爾會有疲憊感，這也可能是導致其介入效果不顯著的原因，使用市面上販售握筆器研究參與者在手寫字體正確率低於 10%，但使用 3D 列印握筆器 A、B、C 型的手寫字體正確率分別為約 32%、約 41%、約 27% 。由此可知，3D 列印握筆器能夠改善脊髓性肌肉萎縮症學生抄寫品質表現。

從測驗結果得知，以抄寫速度作比較：使用 3D 列印握筆器所抄寫速度都比使用市面上販售的握筆器快，其中又以 C 型握筆器抄寫速度最有更有正向變化、顯著介入效果。以抄寫品質作比較依據，使用 3D 列印握筆器手寫字體正確率明顯都比使用市面上販售握筆器高，其中又以 B 型握筆器抄寫品質有最高的正確率、明顯介入效果。

（二）實務建議

本研究的 3D 列印握筆器三款中，B 型握筆器之指環是橢圓形，C 型握筆器之指環是指形，由抄寫效率得知，指環形狀跟抄寫表現可能有關，建議日後研究者於握筆器設計可參照 B 型握筆器其指環是橢圓形則服貼度較佳，比較好控制。

又因 3D 列印機器的樣式、功能日趨多樣性成長；因此，本研究建議未來研究者多利用不同的線材，找出更實用的材料和列印方式，搭配特殊的「酒精蒸發液體」溶解列印的粗糙表面，用舒適的後製避免磨擦、受傷，另外，亦建議 3D 列印機器、列印方式的選擇可多元嘗試，如：掃描為媒介進行列印，提高 3D 列印的成效和耐用性。

三、研究限制

（一）研究參與者

本研究之研究參與者為罕見疾病「脊髓性肌肉萎縮症」，在徵詢研究參與者時需要花費多一點心思；再加上異質性高、樣本少的研究參與者特性，因此本研究結果不適宜直接供其他的脊髓性肌肉萎縮症者類推。

（二）研究工具

本研究列印線材為「聚乳酸」(PLA)，材料是玉米澱粉樹酯，具生物可降解性，可在 2 至 6 個月內分解為二氧化碳和水等較無害物質，因此，線材的保存、控管，會影響列印成品的品質。此外，設計與列印方式和效果會與他型之市面上販售 3D 機型有所差異；在列印時的參數，也會依不同的室溫、情境，做相對應的設定，故即便是依照相同參數設定列印，仍會有不一樣的結果。

透過本研究，建立 3D 列印握筆器個別化設計與發展流程，希望能讓更多脊髓性肌肉萎縮症學生求學的限制越來越少，提供特殊教育領域人員解決學生書寫問題的一項選擇，使 3D 列印技術製作能更普及。

參考文獻

允拓材料科技股份有限公司（2014）。**軟性橡膠握筆套／握筆器**。108 年 4 月 16 日，取自 https://www.linkupon.com/project/pen-holder/

全國特殊教育資訊網（2017）。**閱讀與書寫輔具**。2019 年 7 月 26 日，取自 https://special.moe.gov.tw/article.php?paid=170

吳玉珍、楊淑蘭（2006）。寫字教學。**特殊教育季刊，99**，13-18。

吳雅婷、巫宗蓉、何配珍（2000）。報告老師：您把寫字教學變有趣了。**特教園丁，15**(3)，39-44。

吳顯東（2013）。**3D 列印材料發展現況與趨勢**。臺北：資策會產業情報研究所。

李安世（2006）。**漢字部件教學對國小二年級寫字困難兒童抄寫效果之研究**（未出版之碩士論文）。國立臺南大學，臺南。

李彩雲（2010）。**注意力缺失過動症兒童的手寫表現之探討**（未出版之碩士論文）。長庚大學，臺北。

李瑩玓（2004）。寫字困難學生寫字特徵之分析。**師大學報：教育類，49**(2)，43-64。doi: 10.29882/JTNUE.200410.0003

沈宜璇（2011）。結合職能治療與人因工程，協助肢體殘障學童寫字動作能力。**長庚醫訊，32**(11)，12-17。

身心障礙者權益保障法（2021）。中華民國一百一十年一月二十日總統華總一義字第 11000004211 號令修正公布。

周宜璟（2006）。**肌肉萎縮症學生在明星高中求學歷程之個案研究**（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北。

林鋐宇（2005）。寫字能力之發展與職能評估。**優質特教發展網絡系統暨教學支援平台**，2019 年 8 月 3 日，取自 http://sencir.spc.ntnu.edu.tw/GoWeb/include/Get_tfile.php?KeyID=3102

社團法人台灣脊髓肌肉萎縮症病友協會（2001）。**什麼是脊髓肌肉萎縮症？** 2019 年 3 月 26 日，取自 https://www.taiwansma.org.tw/?.p=HjEL

洪瑞成、連盈捷、陳立青（2008）。輔助科技在融合環境下之應用類型及應考量之因素。**屏師特殊教育，16**，38-48。

洪儷瑜、張郁雯、陳秀芬、陳慶順、李瑩玓（2017）。**基本讀寫字綜合測驗——指導手冊**。臺北：心理。

特殊教育課程教材教法及評量方式實施辦法（2010）。中華民國九十九年十二月三十一日教育部臺參字第 0990218743C 號令修正發布。

國家教育研究院（2018）。**十二年國民基本教育課程綱要國語文領域**。2019 年 7 月 15 日，取自 https://www.naer.edu.tw/PageSyllabus?fid=52

張瑞昆（2017）。3D 列印在復健輔具之運用。**長庚醫訊：3D 列印專刊，38**(2)，22-23。

張麗蓮（2017）。臺灣寫字研究文獻探究。**教育理論與實踐學刊，36**，127-148。doi: 10.7038/JETP.201712_(36).0006

教育部（2019）。**十二年國民基本教育課程綱要**。2019 年 7 月 15 日，取自 https://www.k12ea.gov.tw/Tw/Common/SinglePage?filter=11C2C6C1-D64E-475E-916B-D20C83896343

梁文隆（2017）。3D 列印在輔具的應用。**高醫醫訊，37**(7)，17。

梁明華（2010）。淺談肌肉萎縮症對輔助科技使用的障礙心理調適。**特教園丁，26**(1)，27-32。

章美蘭（2015）。拍照即可掃描辨識為文字檔。**中央研究院 ITs 通訊，13**，4-9。

許秀菊（2005）。**國小低年級學童書寫動作調整之行動研究**（未出版之碩士論文）。國立臺北教育大學，臺北。doi: 10.6344/NTUE.2005.00003

陳秀芬、洪儷瑜、陳慶順（2008）。國小一至三年級讀寫字困難學童基本字讀寫能力之研究。**臺東大學教育學報，19**(2)，31-60。 doi: 10.6778/NTTUERJ.200812.0031

陳素珍、蘇本華、陳家玉（2011）。一個脊髓性肌肉萎縮症家庭之遺傳諮詢過程。**中山醫學雜誌，22**(1)，109-117。doi: 10.30096/CSMJ.201103.0012

陳振昇研究室（2020）。**陽明輔具 3DP**。2020 年 1 月 5 日，取自 http://120.126.99.98/3D%E5%88%97%E5%8D%B0%E5%B0%88%E5%8D%80.htm

陳添球（2000）。識字與寫字能力指標建構的基本精神與特色。**花師院刊，32**，18-20。

陳達德（2007）。**握筆與長時間書寫表現間關係之研究**（未出版之碩士論文）。國立臺灣大學，臺北。doi: 10.6342/NTU.2007.01286

曾于倫（2005）。**電腦輸入對國中學習障礙學生寫作表現之研究**（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北。

鈕文英（2008）。**擁抱個別差異的新典範——融合教育（初版）**。臺北：心理。

廖漢聰（2017）。3D 列印於顱顏重建的運用。**長庚醫訊：3D 列印專刊**，38(2)，18-20。

劉旻宜（2011）。**以國際健康功能與身心障礙分類系統探討肌肉失養症與脊髓性肌肉萎縮症者之健康特性、輔具需求與輔具使用成效**（未出版之碩士論文）。國立陽明大學，臺北。

蔡孟竹、曾元顯（2003）。中文 OCR 文件檢索測試集之製作與應用。**教育資料與圖書館學報，40**(3)，325-344。

衛生福利部（2017）。**國際疾病分類標準（ICD-10）第 六 章**。2019 年 5 月 9 日，取自 https://dep.mohw.gov.tw/Content_List.aspx?n=20443564F26622DC&topn=23C660CAACAA159D

衛生福利部（2018）。**2018 公告罕見疾病名單暨 ICD-10-CM 編碼一覽表**。2019 年 7 月 18 日，取自 https://www.hpa.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=596&pid=1065&sid=1014

トンボ鉛筆／トンボえんぴつ Tonboenpitsu（2017）。YO-i 子どもたちは右手のペンを持つことを学ぶ。取自 https://www.tombow.com

Aquino, R. P., Barile, S., Grasso, A., & Saviano, M. (2018). Envisioning smart and sustainable healthcare: 3D Printing technologies for personalized medication. *Futures, 103*, 35-50. doi: 10.1016/j.futures.2018.03.002

Berger, A., Mayr, A. J., Meierhofer, D., Fotschl, U., Bittner, R., Budka, H., ... & Sperl, W. (2003). Severe depletion of mitochondrial DNA in spinal muscular atrophy. *Acta Neuropathol, 105*(3), 245-251. doi: 10.1007/s00401-002-0638-1

Cure SMA. (2018). About SMA. Retrieved from https://www.curesma.org/about-sma/?_ga=2.232677151.1834074968.1641636259-886828671.1641636259

I.materialise. (2015). *Top 25 Most Popular 3D Modeling Software Programs*. Retrieved from https://3dprint.com/87111/i-materialise-top-25-software/

Jo, W. J., Jang, H. I., Harianto, R. A., So, J. H., Lee, H. B., Lee, H. J., & Moon, M. W. (2016). Introduction of 3D printing technology in the classroom for visually impaired students. *Journal of Visual Impairment & Blindness, 110*(2),115-121. doi: 10.1177/0145482X1611000205

Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. (2015). Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118-128. doi: 10.1016/j.tele.2014.05.001

Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, N., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B:Engineering, 143*(15), 172-196. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012

Norman, J., Madurawe, R. D., Moore, C. M.V., Khan, A. M., & Khairuzzaman, A. (2017). A new chapter in pharmaceutical manufacturing: 3D-printed drug products. *Advanced Drug Delivery Reviews, 108*, 39-50. doi: 10.1016/j.addr.2016.03.001

Ogino, S., & Wilson, R. B. (2002). Genetic testing and risk assessment for spinal muscular atrophy (SMA). *Human Genetics, 111*, 477-500. doi: 10.1007/s00439-002-0828-x

Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., & Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages and Computing, 28*, 226-237. doi: 10.1016/j.jvlc.2015.01.004

The Pencil Grip Inc. (2012). *The Crossover Grip*. Retrieved from https://www.thepencilgrip.com/products/the-crossover-grip-neon

Tseng, M. H., & Chow, S. M. (2000). Perceptual-motor function of school-age children with slow handwriting speed. *American Journal of Occupational Therapy, 54*, 83-88. doi: 10.5014/ajot.54.1.83

Tuan, D. N. , Kashani, A. , Imbalzano, N. , Nguyen, K. T.Q. & Hui, D. (2018). A review of materials, methods, applications and challenges. Composites Part B: Engineering. *Additive Manufacturing, 143*(15), 172-196. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012

Wang, H. Y., Yang Y. H., & Jong, Y. J. (2002). Evaluation of muscle strength in patients with spinal muscular

atrophy. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences, 18*(5), 241-247. doi: 10.6452/KJMS.200205.0241 doi: 10.6452/KJMS.200205.0241

Yue, J., Zhao, P., Gerasimov, J. Y., van de Lagemaat, M., Grotenhuis, A., Rustema-Abbing, M., ...& Ren, Y. (2015). 3D-printable antimicrobial composite resins. *Advanced Functional Materials, 25*(43), 6756-6767. doi: 10.1002/adfm.201502384