

視覚障害児のための歩行訓練用石突の研究

—身体負荷の少なく、メンテナンスしやすい石突を求めて—

吉岡学
(金沢大学附属特別支援学校)

<要 旨>

移動社会である現代において視覚障害者の歩行支援は社会生活を営む上で必要不可欠なものとなっている。彼らが単独歩行の際に使用する補助システムはいくつか存在するが、その中でも、特に白杖は、視覚障害者にとって最も効果的な移動補助具となっている。白杖は、グリップ、シャフト、石突の3つの部品で構成されている。その中でも石突は、白杖部品の中で唯一、路面に接する部分であり、路面状況を振動として視覚障害者の手指に伝える最も重要な役割を担っている部品でもある。白杖用石突に関する研究は、視覚障害児を対象としての操作性やメンテナンス性の観点から機能を評価した研究は見当たらないのが現状である。このような状況において、視覚障害児の白杖歩行練習に適した石突の性能を調べ、その結果に操作性やメンテナンス性の観点を加えた視覚障害児専用の石突を開発することは非常に意義のあるものと思われる。このため本研究は、視覚障害児自らが操作し易く、破損部品を交換できる仕組み（メンテナンス性の高い）を有する石突の開発を行った。新に開発した石突の評価は、全国の視覚障害特別支援学校及び盲学校 71 校に対して現在使用されている石突の種類についてアンケート調査を行い、最も多く使用されている石突を明らかにし、その石突と新に開発した石突との操作性及びメンテナンス性において比較調査を行った。

その結果、各学校で最も使用されているペンシル型石突を使用した場合より新たに開発した石突の方が白杖操作時の上肢に対する負荷は軽減され、振動伝達性の点においても優れていることが明らかになった。また、石突をパーツ組み立て式にすることでメンテナンス性が従来のペンシル型石突より飛躍的に向上したことが明らかになった。これにより、新に開発した石突は、視覚障害児が白杖歩行学習を行う場合に優れた機能を有する石突であることを明らかにした。

<キーワード> 白杖、石突、視覚障害児

【はじめに】

視覚障害児・者にとって「歩くこと」は多くの困難さを伴うものと考えられる。例えば、駅の路線内や小さい溝への転落など無数の事故などがある。しかしながら、「歩くこと」は視覚障害児・者が社会生活を営む上で必要不可欠なものである。

視覚障害児・者の歩行の困難さを軽減するものとしては、他者による移動補助、あるいは適切な移動補助具を用いた歩行訓練が考えられる。その中でも適切な移動補助具を用いた歩行訓練は、視

覚障害児・者の単独歩行を可能にさせ、自立した社会参加を促し、生活の質（QOL）を向上させるものと考えられる。

視覚障害児・者の移動補助具には白杖、点字ブロック、電子装置などが挙げられる。その中でも白杖は非常にシンプルな移動補助具であるが、視覚障害児・者の歩行に必要な支援機能を有している補助具でもある（Foulke, 1975）。その支援機能は3つある。1つ目は衝突の際に視覚障害児・者

の体を守るバンパーとしての機能、2 つ目は視覚障害児・者に路面情報を知らせるプローブとしての機能、3 つ目は晴眼者への注意喚起としての機能である。これらは視覚障害児・者にとって歩行の際に必要な機能であり、現在、数多くの視覚障害児・者が使用していると言われている。

白杖の基本デザインは1940年代にリチャード・フーバーによって紹介された。1900年代中頃には、アルミニウム製の白杖が開発され、軽く扱いやすく、振動伝達性が向上した移動補助具となった。しかし、それ以降は殆ど変わっていないのが現状である (Rodgers, 2005)。

白杖は、グリップ、シャフト、石突の3つの部品で構成されている。その中でも石突は、白杖の部品の中で唯一、路面に接する部分であり、路面状況を振動として視覚障害者の手指に伝える最も重要な役割を担っている部品である。

白杖用石突に関する研究は、現存する石突による段差の知覚能力を論じたものがある程度であり、振動伝達性、操作性、メンテナンス性の観点から機能を評価した研究は見当たらないのが現状である。さらに、上述の研究では、成人の視覚障害者を対象としたものであり、早期に白杖歩行学習を行なう視覚障害児を対象とした研究は全く行われていない。そのため、学校教育では視覚障害児が白杖歩行学習を行う場合、児童生徒に適した石突を考慮することなく、今もなお、最も重要な歩行補助具として使われ続けている。

このような状況において、視覚障害児の白杖歩行学習に適した石突の性能を調査し、その結果を用いて振動伝達性、操作性、メンテナンス性の観点を加えた視覚障害児専用の石突を開発することは非常に意義のあることである。加えて、これらによって視覚障害児が安全で効率的な白杖歩

行学習が受けられることで白杖歩行時の事故の減少、社会進出による生活の質の向上等、社会的意義が大きいものといえる。

そこで本研究では、振動伝達性、操作性、メンテナンス性の優れた視覚障害児の白杖歩行学習に適した白杖用石突の開発を行うこととした。

【研究1 実態調査】

1. 方法

調査目的は、全国盲学校並びに特別支援学校(視覚領域)71校に在籍する児童生徒が普段、白杖歩行学習に使用する白杖用石突の実態を明らかにすることである。この目的を遂行させるための調査課題を「学校所有の石突の種類」、「白杖の主な破損箇所」、「石突の耐用年数」、「石突に対する要望点」、「白杖のメンテナンス」の5点とした。

(1) 調査用紙

質問項目は、現職教員の意見を取り入れ作成された。調査用紙では、設問はすべて通し番号とし、文字の大きさ(12ポイント)と書体(明朝体)を使用した。

(2) 調査手続き

回答用紙とともにアンケートに関する倫理的配慮に関する説明書を同封した。回答方法は、調査用紙、Eメールのなかから回答者の選択とした。集計後は対象者が特定できないように集計表を攪拌操作し、プライバシーの保護に努めた。

(3) 調査の対象者

全国の盲学校並びに特別支援学校(視覚障害領域)で小学部を設置してある71校のうち小学部自立活動担当教員を調査対象とした。

2. 倫理的配慮

本研究は、対象教諭へ研究に関する全ての事項について書面による説明をおこない、同意を得た。また、調査研究プロトコルはヘルシンキ宣言に沿って行なわれた。

3. 結果

全国の盲学校並びに特別支援学校（視覚障害領域）71校のうち55校から回答を得た。回収率は77.5%であった。回収方法は、調査用紙返送38校、Eメールでの回答は17校であった。

(1) 石突の種類について

全国の盲学校並びに特別支援学校（視覚障害領域）で白杖歩行指導に用いられる石突の種類について調査を行った。その結果、「ペンシル型石突」43.6%と最も多かった。次に「ペンシル型石突、ローラー型石突、パーム型石突の併用」30.9%、「ペンシル型石突とローラー型石突の併用」20.0%、「ペンシル型石突とパーム型石突の併用」3.6%、「パーム型石突の併用」1.8%であった。

(2) 白杖の主な破損箇所について

白杖歩行指導に用いられる白杖の破損箇所について調査を行った。その結果、「石突」が55.6%と最も多かった。次に「シャフト」25.9%、「シャフトと石突」が18.5%であった。

(3) 石突の耐用年数について

白杖歩行指導に用いられる石突の耐用年数について調査を行った。その結果、耐用年数が「1年以上から3年未満」が70.9%と最も多かった。次に「3年以上から5年未満」3.6%、「5年以上」3.6%、「使用の仕方に応じて決まる」21.8%であった。

(4) 石突に対する要望点について

白杖歩行指導に用いられる石突に対する要望点について調査を行った。その結果、「材質の改

良」22.7%と最も多かった。次に「交換容易性」18.2%、「構造及び強度化」18.2%、「低価格化」15.9%、「軽量化」15.9%、「規格の統一」9.1%であった。

(5) 白杖のメンテナンスについて

白杖歩行指導に用いられる白杖のメンテナンスについて調査を行った。その結果、「メンテナンスをしていない」が72.5%と最も多かった。次に「1ヶ月ごと」15.0%、「毎日実施」10.0%、「1週間ごと」2.5%であった。

4. 考察

白杖用の石突は、ペンシル型、マシュマロ型、ボール型、ローラー型、そして金属やセラミック系の滑車型の5種類に分類される(Kim et al., 2010)。2005年に米国の白杖使用者98人に対して耐久性、弾力性、および強度などを含む6つの機能カテゴリから好ましい石突の調査を行った。その結果、マシュマロ型石突が最も好ましい石突であると評価された(Ambrose-Zaken, 2005)。

今回、全国の盲学校並びに特別支援学校（視覚障害領域）で白杖歩行指導に用いられる石突の調査において「マシュマロ型石突」は選ばれることなく、「ペンシル型石突」、「ローラー型石突」、「パーム型石突」の3種類が選ばれた。その中でも「ペンシル型石突」は最も多く使用されていることが明らかになった。白杖歩行指導中で破損しやすい白杖箇所は「石突」が最も多く破損する箇所であることがアンケート調査で明らかになった。そのため「ペンシル型石突」は「ローラー型石突」や「パーム型石突」に比べては破損しにくいシンプルな構造をしていることや低価格であることから教育現場で多く採用されているものと思われる。

視覚障害児が白杖歩行学習を行う場合、最初に白杖の先端部分に取り付けられている石突を路面上に常に接し、左右にスライドさせて歩行するスライド法にて学習を行う。この学習は視覚障害児が白杖操作方法を習得すること、その操作を行いながら路面状況など歩行環境を把握する力の育成することを目的として繰り返し行われる。そのため、このスライド法による学習が一番の破損の要因であると考えられる。そのため、盲学校では石突の耐用年数は「1年以上から3年未満」が最も多く、白杖部品の中で最も多く交換する必要がある部品であることが明らかになった。また、白杖歩行指導に用いられる石突に対する要望点については、「材質の改良」が最も多かった。路面上を白杖でスライドさせるための力は、石突の摩擦係数によって決められると言われている(Kim et al., 2010)。そのため白杖使用者は、なるべく摩擦係数の少ない材質の石突を選択することで身体に負荷が少なく白杖を操作できるようになる。今回の調査の中で石突に対する要望点は、この点が要因として出されたものと思われる。

白杖のメンテナンスに関する文献を調査したところ、日常的に白杖のメンテナンスを使用者本人が行うことの必要性やメンテナンス方法を述べたものが僅かに存在する程度であり、白杖のメンテナンスを体系的に述べたものは殆ど存在しない(新井, 1996)。その結果、今回の調査においても、各学校で白杖歩行指導に用いられる白杖に対してメンテナンスを全く行っていないと回答した学校が7割を超えていたことが明らかになった。白杖は白杖使用者の命を守る大切な補助具である。その観点からすると白杖のメンテナンスは非常に重要な事である。ただし、上述のように白杖のメンテナンス方法を述べた資料が少ないの

も現実にある。今後は、白杖のメンテナンスについての資料を早急に作成する必要があるものと思われる。

以上より、今日の教育現場において必要とされている石突は以下のような性能のものであることが明らかになった。

- ① 路面状況を伝える振動伝達性が良いこと
- ② 磨耗に強い仕組みであること
- ③ 交換が容易であること

【研究2 石突の振動特性】

1. 方法

白杖グリップ部に三軸加速度センサ(スター精密株式会社 ACB302)を取付け、先天盲女兒2名(ともに10歳)にリノリウム床で1分間スライド操作を行い、その後30秒間停止するように指示した。このサイクルを3回行った。その際に白杖操作時の手指に伝わる振動を計測した(図1)。解析ソフトには、intercross-310(インタークロス社)を使用した。また、サンプリング周波数は1kHzとした。

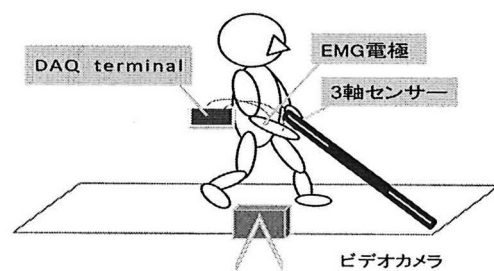


図1 実験概略図

2. 対象

吉岡(2015)によると全国の盲学校並びに特別支援学校(視覚障害領域)で最も多く使用されている白杖はカーボンシャフトであると述べている。そのため、今回の石突の振動伝達性評価においてはシャフト部をカーボン製とし、石突は、比

較対照として上述のペンシル型石突とした。また、図2は、新規開発した石突の全体図である。この石突は4つのパーツで構成されている(図3, 4, 5, 6)。図3は、石突が路面と接する石突外形部である。この外形部は、耐摩耗性の材質を使用しており路面による摩耗が従来の製品より15%軽減されている。また、視覚障害者は路面状況を把握する場合、石突部使って路面を叩き、その音により判断する場合もある。そのため、石突で路面上を叩いた際の音色も視覚障害者にとって重要な情報源となる。今回開発した石突は、この路面上を叩いた際に生じる音を視覚障害者が調整できる仕組みにもなっている。図4は石突とシャフトを結合するシャフト結合部である。この部品は従来の石突と同様にシャフトと石突本体を結合する機能を有しているのみならず、図3の石突外形部が摩耗により破損し、白杖シャフト部から脱落した場合でもこのシャフト結合部が代用の石突(ペンシル型)となり、視覚障害児が白杖歩行を安全に継続できるようになっている。図5は、振動調整及び引っかかり防止部である。この部品は石突が路面上をスライドさせ、その際に生じる振動を白杖操作者に対して、より明確に伝達させるために振動を調整する役割を持っている。さらに、白杖使用者が石突を路面上でスライドさせた時、溝などの引っかかりを回避できるように弾性の高い材質を採用している。図6は、4つのパーツを固定するリングである。この部品は、白杖使用者自身が道具を使わずに部品の脱着ができるようになっている。さらに、部品の脱着が完了した時には、使用者へ音によって脱着完了を知らず機能を有している。また、図4、図5、図6の部品は、継続して使用でき、摩耗の際には、図3の石突外形部のみ交換できる仕組みになっており維

持費用が少ないのが特徴である。

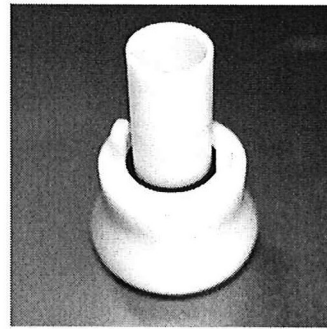


図2 新規開発石突

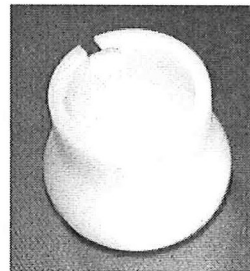


図3 石突外形部

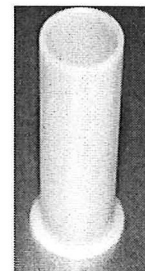


図4 シャフト結合部

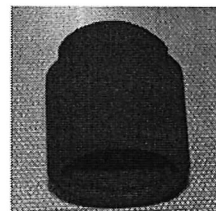


図5 振動調整及び引っかかり防止部

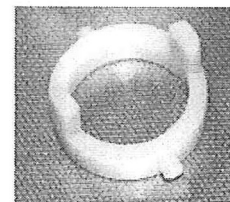


図6 固定リング

3. 倫理的配慮

本研究は、児童へ研究に関する全ての事項について口頭による説明をおこない、保護者には書面による同意を得た。また、実験プロトコルはヘルシンキ宣言に沿って行なわれた。

4. 結果と考察

図7は、ペンシル型石突をリノリウム床でスライドさせた時に白杖シャフトに伝わる振動特性の結果である。図8は新規開発石突の場合である。これらの波形は、石突が路面をスライドさせたときに手指に伝わる振動特性を表している。図

7 のペンシル型石突の場合、0Hz から 600Hz の間に複数の小さなピーク値が見られる。この場合、様々な振動数の波形が手指に伝わるため路面状況を白杖使用者が明確に把握しにくい可能性がある。一方、新規開発石突の場合、ペンシル型石突に比べて 0Hz から 200Hz と狭い範囲に大きなピーク値が 8 か所で見られる。これは新規開発石突がペンシル型石突に比べて路面上を白杖使用者が明確に把握することがしやすい性能を有することを示している。さらに、新規開発石突の場合、この振動特性を白杖使用者が変えることも可能である。この振動特性は、図 5 で示した振動調整及び引っかかり防止部の材質硬度に依存している。そのため、新規開発石突の場合、振動調整及び引っかかり防止部の材質の硬度を変えて使うことでより明確に路面状況を把握しやすい実用的な石突になるものと思われる。

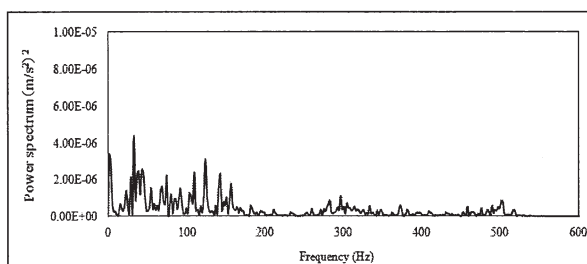


図 7 ペンシル型石突の振動特性

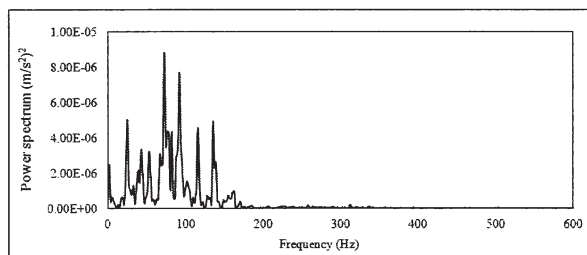


図 8 新規開発石突の振動特性

【研究 3 身体負荷の測定】

1. 方法

ペンシル型石突と新規開発石突での白杖操作中の上肢の筋活動の把握、石突の形状と負荷の関係の評価するために以下の実験手順で行った。

被験者は、合図とともに立位で 30 秒間静止する。その後、合図によりリノリウム床の室内をスライド法により 10m 直進する。その後、合図により歩行を終了し、その場で再度、立位により 30 秒間静止する。立位静止の際には被験者は白杖操作時の姿勢と把持方法は統一するように指示する。この測定を 1 人当たりペンシル型石突と新規開発石突の各石突で 3 回施行することにした。また、白杖操作時の筋電位を測定するために白杖操作側の上肢 4 か所（尺側手根屈筋、尺側手根伸筋、上腕二頭筋、腕頭骨筋）には筋電位測定用電極を貼り付けてある（図 1）。解析ソフトには、intercross-310（インタークロス社）を使用した。また、サンプリング周波数は 1 KHz とした。

2. 対象

被験者は先天盲女兒 2 名（ともに 10 歳）とした。児童は視覚障害のみであり、それ以外の疾患はなかった。測定に使用する白杖は、シャフトをカーボン製とし、グリップはゴルフグリップ型とした。石突は、ペンシル型石突と新規開発石突を用いることにした。また、白杖の長さは女兒の身長を考慮し 100 cm とした。

3. 倫理的配慮

本研究は、児童へ研究に関する全ての事項について口頭による説明をおこない、保護者には書面による同意を得た。また、実験プロトコルはヘルシンキ宣言に沿って行なわれた。

4. 結果と考察

図 9 は、スライド操作法におけるペンシル型石突と新規開発石突における白杖操作側上肢の筋活動を表したものである。新規開発石突における

白杖操作の場合は、ペンシル型石突における白杖操作と比較すると、いずれの対象筋に対しても筋電位が小さいことが明らかになった。また、白杖操作時の上肢における筋電位に差があるかどうかを調べるために有意水準 5%で t 検定を行った。その結果、尺側手根屈筋 ($t(10)=3.74, P=.004$) 及び尺側手根伸筋 ($t(10)=2.37, P=.04$) の 2 部位に有意な差が見られた。このことより、新規開発石突は、ペンシル型石突よりもスライド操作法によって白杖を操作する場合、身体に負荷が少ない石突であることが明らかになった。また、特に尺側手根屈筋、尺側手根伸筋においては特に負荷が少ないことが明らかになった。

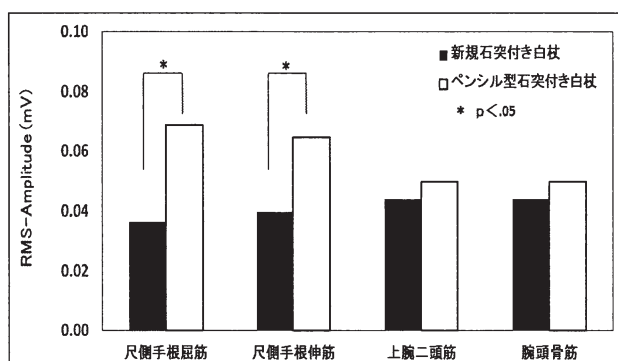


図9 白杖操作時における筋活動

【総合考察】

白杖とは、衝突から体を守るバンパーとしての機能、路面情報を知るためのプローブとしての機能、晴眼者への注意喚起としての機能を有するものと言われている(芝田, 2010)。その中でも石突は、白杖を使って路面を歩行する際の大切なパーツであるとも述べている(Kim et al., 2010)。このことから白杖の機能である「路面情報を知るためのプローブとしての機能」に関しては石突の性能に関係しているものと考えられ、石突の性能向上や機能性を上げることは安全な白杖歩行を確立するための重要なファクターといえる。

本研究では、全国の盲学校及び特別支援学校に対し、石突に関してアンケート調査を行った。その結果、教育現場では「路面状況を伝える振動伝達性が良いこと」、「磨耗に強い仕組みであること」、「交換が容易であること」が必要としている機能であることが明らかになった。そこで、本研究において振動伝達性が高く、磨耗に強く、磨耗の際に交換がしやすい機能を持った石突を開発した。振動伝達性においては、従来学校現場で使用されているペンシル型石突より振動周波数が狭い範囲の振動で振幅が大きくなる構造とした。また、高い振動数に対するフィルタ機能を有する振動調整及び引っかかり防止部の弾性材料を用いたパーツを取り入れることで、よりクリアな振動を手指に伝達できるようにした。磨耗対策としては石突本体を回転させることで片減りがなくなり従来のペンシル型石突と比べて 15%製品寿命が延びた。交換容易性においては、従来の石突とは異なる 4 つのパーツを組み合わせる構造にしたことで磨耗した部品のみを交換できるようにした。さらに、そのパーツ交換は白杖使用者自身が交換できるように交換完了の際には音で知らせる構造にした。

このように新規開発石突によって、今日の教育現場が求める機能を有する歩行補助具が完成した。

視覚障害児は白杖操作法を習得するために繰り返し学習を行う必要がある。吉岡(2015)によると、視覚障害児が白杖操作法を習得するために最低でも 1 週間あたり 1 時間から 2 時間程度、毎日学習を行わなければいけないといわれている。この点からすると白杖歩行学習において視覚障害児の白杖操作側上肢の身体負荷を考慮する必要があると思われる。白杖操作時の身体負荷を論

じたものは今日では殆ど見られない (Doi, 2013 ; Morioka, 1998)。さらに、これらの研究では、成人を対象としたものばかりであり、白杖の操作方法も異なっている。そのため、現状では視覚障害児が白杖歩行学習を行っていく中で身体負荷に対する評価を論じたものは見当たらない。そこで、本研究では視覚障害児が白杖歩行学習の際に行う白杖操作方法であるスライド法を対象に身体負荷を評価した。その結果、従来使用されているペンシル型石突による操作と比較して白杖操作側の手首にかかる負荷が 40%軽減されたことが明らかになった。これにより、新規開発石突は、視覚障害児が白杖歩行学習を行う際に身体負荷が軽減される石突であるといえることが明らかになった。

【結論】

本研究では、視覚障害児の白杖歩行で使用される石突に関する研究開発を行ってきた。その開発要件としては振動伝達性の向上、耐摩耗性の向上、交換容易性の向上、さらに加えて身体負荷低減性の向上のというものであった。その結果、従来の石突の製品とは異なり、4 つのパーツで構成し、その1つ1つのパーツに求められる各機能を付加することで、いずれの要件もクリアーできる石突が完成できた。今後は、この石突を視覚障害者・児の方々に使用していただくこと、新しい機能を広く知らせることが次の課題となるものと思われる。

【参考文献】

Ambrose-Zaken, G. (2005). Knowledge of and Preferences for Long Cane Components: A Qualitative and Quantitative Study.

Journal of Visual Impairment & Blindness, 99, 633-645.

Doi, K., Sugama, & A., Nishimura, T., & Ino, S., & Nunokawa, K., & Sugiyama, M., & Kosuge, K. (2013). Influence of the Weight of White Canes on Muscle Load of the Upper Limbs. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings 39, 2019-2022.

Foulke, E. (1967, December). The cane as a channel for the communication of information. Proceedings of the Conference for Mobility Trainers and Instructors, 19-26. Cambridge, MA: Sensory Aids and Evaluation Center, MIT.

Kim, D., & Wall Emerson, R. S., & Curtls, A. B. (2010). Ergonomic Factors Related to Drop-Off Detection With the Long Cane: Effects of Cane Tips and Techniques. Human Factors and Ergonomics Society 52(3), 456-465.

Morioka, M. & Maeda, S. (1998). Measurement of Hand-Transmitted Vibration of Tapping the Long Cane for Visually Handicapped People in Japan. Industrial Health 36, 179-190.

Rodgers, M. D., & Wall Emerson, R. (2005). Human Factor Analysis of Long Cane Design: Weight and Length. Journal of Visual Impairment & Blindness, 99, 622-631.

芝田裕一(2010) 視覚障害児・者の歩行指導. 北大路書房.

吉岡学、清水順市、木崎秀臣、中尾弘喜(2015) 視覚障害児専用の白杖の開発と評価. 日本機械学会論文集, 82(836), 1-11.