強化プラスチック繊維を用いた高強度・軽量白杖の開発と 路面タッチ動作時の上肢負担の評価

Development of a High-strength and Lightweight White Cane Fabricated Using Reinforced Plastic and Evaluation of the Upper Limb Load during Two-point-touch Motion

○正 土井 幸輝 (特総研) 菅間 敦 (首都大) 正 西村 崇宏 (早大)
正 瀬尾 明彦 (首都大) 正 井野 秀一 (産総研)
布川 清彦 (東京国際大) 小菅 一彦 (福井大/KOSUGE)
宮崎 明人 (A-Tech) 杉山 雅章 (日点) 田中 良広 (特総研)
澤田 真弓 (特総研) 金子 健 (特総研) 大内 進 (特総研)
金森 克浩 (特総研)

Kouki DOI, National Institute of Special Needs Education
Atsushi SUGAMA, Tokyo Metropolitan University
Takahiro NISHIMURA, Waseda University
Akihiko SEO, Tokyo Metropolitan University
Shuichi INO, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Kiyohiko NUNOKAWA, Tokyo International University
Kazuhiko KOSUGE, Fukui University, KOSUGE Co., Ltd
Akito MIYAZAKI, A-tech Co., Ltd
Masaaki SUGIYAMA, Japan Braille Library
Yoshihiro TANAKA, National Institute of Special Needs Education
Mayumi SAWADA, National Institute of Special Needs Education
Ken KANEKO, National Institute of Special Needs Education
Susumu OHUCHI, National Institute of Special Needs Education
Katsuhiko KANAMORI, National Institute of Special Needs Education

We developed a novel white cane fabricated using aramid-fiber-reinforced plastic. In this study, impact resistance of each canes were evaluated in strength test. In addition, to evaluate physical loads regarding to actual operation, electromyography of upper limb muscles are measured during touch motions with each two cane. These results show that the new cane is less than half the weight, and high impact resistance compared to a conventional cane fabricated using carbon-fiber-reinforced plastic. Moreover, muscle loads of wrist flexion muscles during touch motion can be reduced by about 20%. On the other hand, the load of the extensor carpi ulnaris muscle was increased.

Key Words: Reinforced Plastic, White Cane, Upper Limb Load

1. 緒言

白杖[1]は視覚障害者が路面の状態を探ったり、障害物を探すために使用する杖であり、視覚障害者のシンボルであると同時に、歩行時に路面や周囲から情報を入手するための重要な手段である。白杖は主にグリップ部分と白杖の本体部であるシャフト部分、そして先端の石突き部分の3つの組み合わせから構成される。シャフトの材質は木材や金属、高分子材のいずれかが用いられ、近年は比較的高強度で軽量の炭素繊維を用いた強化プラスチックから成る白杖が広く普及している。しかし、炭素繊維製強化プラスチック製の白杖は長手方向に対する引っ張りや圧縮の応力に対する強度（ヤング率）は高いが、剪断方向の負荷が掛かった時に折れ易い。そのため障害物との衝突や自転車との接触によって杖が折れること、折れた断面が利用者の手を傷つけることなどが問題視され、白杖利用者から改善の要望が多かった。また、金属製の白杖に比べて軽量化を実現しているが、長時間の歩行によって手首や上肢への身体負担を訴える利用者も少なくないと言われている。

そこで著者らは、炭素繊維よりもヤング率が低く、高い耐衝撃性を備えたアラミド繊維を用いて白杖を作製することとした。アラミド繊維強化プラスチック製の白杖は、仮に折れた場合も炭素繊維に比べ破断面に毛羽状の繊維が突出しにくいため、利用者が破断面に触れた際に怪我をする危険性が少

ない。また、白杖の強度を向上させた上で軽量化も合わせて実現することで炭素繊維製強化プラスチック白杖を使用する際の手首や上肢への身体負担の軽減が期待できる。本稿では開発したアラミド繊維強化プラスチック製白杖の強度試験結果と、実際に路面タッチ動作を行った際の上肢負担を評価した結果について報告する。

2. アラミド繊維強化プラスチック製の白杖の開発と強度試験

本研究では、熱硬化性樹脂によって被覆されたアラミド繊維（丸八社製）を用いて外圧成型することで白杖を作製した。白杖のサイズは、一般的なアドバンテージ社製の折りたたみ型白杖と同じサイズ（外径 12 mm、長さ 122 mm、肉厚 3 mm）とした。その結果、完成したアラミド繊維製白杖の重量は 113 g となり、炭素繊維製白杖の 244 g に比べて半分以下にすることができた。

次に、落錘型衝撃試験法によって今回作製したアラミド繊維強化プラスチックシャフトと炭素繊維強化プラスチックシャフトの剪断方向の耐衝撃性を比較した。計測条件は、重量を人が乗った自転車の車輪に白杖が引っ掛かった場面を想定し、60 kg の成人が任意の速度で走行中の自転車に白杖が引っ掛かった場合の衝撃と同等の衝撃を三点曲げ衝撃にて評価した。その結果、炭素繊維製シャフトは 6.0 J (1.6 km/h) の

低速でも図 1 左の通り真二つに切断破損し、破損面からは炭素繊維がトゲ状の毛羽も発生し危険な状態が確認された。一方、アラミド繊維製シャフトに同条件の 6.0 J のエネルギーを与えたところ、アラミド繊維製は切断しなかった (図 1 右)。アラミド繊維製のシャフトはその約 30 倍の 200 J (9.3 km/h) でも切断はしなかったことから、アラミド繊維製シャフトは炭素繊維製シャフトに対して高い耐衝撃性を備えていることが確認できた。

3. 路面タッチ動作時の上肢負担評価

3.1 実験方法

本研究では、利用者が実際に白杖を使用した場面を想定し、立位で白杖を左右交互に振った際に上肢に生じる筋負担を表面筋電図によって評価した。

実験参加者は晴眼で白杖の使用経験がない男子大学生 6 名とした。実験参加者の年齢、身長、体重はそれぞれ 22.8 ± 0.8 歳、 171.5 ± 5.4 cm、 60.8 ± 5.7 kg (平均±標準偏差) であった。

実験は図 2 のように、立位で白杖を 1 分間あたり 80 回のテンポで左右交互に振る操作を 10 分間継続するものである。これをアラミド繊維製白杖と炭素繊維製白杖についてそれぞれ 2 試行ずつ実施した。杖の振り方は、腕を伸ばして手首を体幹中心前方におき、手首を支点として杖が弧を描くように振るタッチテクニック[2]とした。左右では杖先が軽く地面に触れ、中央では地面からわずかに浮く。なお、杖の握り方と構え方は事前に説明し、杖の振り幅はパネル外を突かないよう指示して統制した。また実験前に杖の操作の練習を十分行った後、測定を行った。

筋電図の測定部位は、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、長橈側手根伸筋、尺側手根伸筋、円回内筋の 5 か所とした。バイオメトリクス社の EMG アンプ (SX230-1000) によって 500 Hz でサンプリングした生データを 1000 倍に増幅し記録した。その後、全波整流と基線のオフセットをとり、1 分間ごとの積分電位を求めた。白杖の動きが安定する区間として、操作開始直後の 1 分間を除いた全 9 分間分のデータを評価対象とした。計測開始後 1~4 分後までを区間 1 (前半)、4~7 分後までを

区間 2 (中盤)、7~10 分後までを区間 3 (後半) と定義し、各区間におけるアラミド繊維製白杖の積分電位 ($iEMG_A$) と炭素繊維製白杖の積分電位 ($iEMG_C$) をそれぞれ求めた。また、負荷比率 ($iEMG_A/iEMG_C \times 100$) を求めた。その後、筋別・区間別にそれぞれ 6 名分の平均値を算出した。

3.2 結果および考察

図 3 に積分筋電図の負荷比率 ($iEMG_A/iEMG_C \times 100$) の結果 (エラーバーは標準偏差) を示す。その結果、アラミド繊維製の白杖を使用した場合は、橈側手根屈筋と長橈側手根伸筋で約 20%, 尺側手根屈筋で約 40%, 円回内筋では約 10%, それぞれ筋負担が軽減されることがわかった。この理由として、本実験で用いた 2 つの白杖ではアラミド繊維製白杖のほうが約 130 g 軽く、この重量差が筋負担の減少に顕著に作用したと推察される。本研究では尺側手根屈筋の負担が最も軽減されたことから、特に手関節の屈曲動作への影響が大きいと考えられる。

一方、尺側手根伸筋のみ、筋負担が約 30% 増加することがわかった。この理由としては杖の材質の違いによる影響が考えられる。材質を比較すると、アラミド繊維素材と炭素繊維素材ではアラミド繊維素材のヤング率が小さく、衝撃吸収性が高い。つまりアラミド繊維製白杖のほうが床に突いた際に跳ね上がりやすく、杖先の軌跡が円弧状になりやすいという特徴がある。そのためアラミド繊維製白杖の操作時に杖先を下方方向に押さえつけるような力が必要となり、手関節の尺屈に作用する尺側手根伸筋の負担が増加したと推察される。

4. 結言

本研究ではアラミド繊維強化プラスチックを用いた高強度かつ軽量の白杖を作製し、強度試験において従来の炭素繊維強化プラスチック製の白杖と耐衝撃性を比較した。さらに、実際に白杖を扱った際の身体負担を評価するため、2 つの白杖でそれぞれ路面タッチ動作を行った際の上肢筋負担を評価した。実験の結果、新たに作製した白杖は従来の炭素繊維強化プラスチック製の杖と比べて高い耐衝撃性を備え、かつ半分以下の重量となることが示された。また、使用時には手関節の屈曲に作用する筋の負担を約 20% 軽減できることが示された。一方、尺側手根伸筋の筋負担のみ増加したため、白杖の機構や操作方法に何らかの配慮が今後必要となることが示唆された。

文 献

- [1] 日本規格協会, JIS T 0102 福祉関連機器用語[支援機器部門], 2011
- [2] 芝田裕一, "視覚障害児・者の歩行指導 - 特別支援教育からリハビリテーションまで", 北大路書房, 2010.