

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 前田 雄
学位 博士 (工学)
学位記番号 新大院博 (工) 第 507 号
学位授与の日付 令和 2 年 9 月 23 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名 下腿義足ソケットの後壁面高さがソケット内接触圧力と歩容に与える効果に関する研究

論文審査委員 主査 教授・堀 潤一
副査 教授・前田 義信
副査 教授・大河 正志
副査 教授・坂井 さゆり
副査 教授・江原 義弘
副査 名誉教授・林 豊彦

博士論文の要旨

本論文は、下腿部の欠損を補う下腿義足のソケットの後壁面高さがソケット内接触圧力および歩容に与える影響について論じたものである。ここでソケットとは、切断された身体部位を収めて、断端に加わる力をソケットに伝達するインタフェース部分である。このソケットを用いると、インナーソケットの厚みなどの要因で膝が曲げにくくなるため、曲げやすくするために、その後壁面高さを一般に低くしがちである。従来、その調整は義肢装具士が経験則的に行ってきたが、将来は下肢の運動機能とソケット適合性の両方を考慮して、定量的評価に基づいて行われる必要がある。そこで本研究では、そのための基礎研究として「ソケット後壁面高さは、下肢筋電図、下肢キネマティクスおよびソケット内接触圧力に影響する」という仮説を立て、その検定とともにこの仮説に影響する個人要因を特定することを目的とした。

被験者には、切断部以外の下肢の機能に特に問題がなく、日常生活で義足を用いている下腿切断者の男性 5 名とした。実験用下腿義足は、ソケットの後壁面高さを膝蓋靭帯の高さとしたものを基準とした (以後、Normal)。さらに、その高さよりも 5 mm 遠位、15 mm 遠位の 2 条件を設定した (以後、それぞれ後壁-5mm、後壁-15mm)。同じ義足で後壁面高さだけを変更できる調節機構を自作した。測定対象は、ソケット内面の接触圧力 (前方遠位部、後方近位部)、下肢のキネマティクスおよび筋活動とした。計測機器には、シート状圧力センサ、3 次元動作解析装置 (赤外線カメラ 12 台)、床反力計 (6 台)、4 チャンネル筋電計を用いた。サンプリング周波数は、接触圧力 100 Hz、動作解析 100 Hz、床反力 1 kHz、筋電図 1 kHz とした。

全被験者に関しては、後壁が低くなるほど、ソケット内接触圧力の前方遠位部最大値が平均的に増加し (Normal/後壁-15mm 間, $P < 0.01$)、後方近位部最大値も平均的に増加する傾向がみられた (有意差: Normal/後壁-15mm 間, $P < 0.01$)。前者の発生時間は、後壁が

低くなるほど早くなる傾向がみられた (Normal/後壁-15mm 間, $P < 0.05$)。各被験者では、後壁が低くなるほど、前方遠位部最大値が被験者 A, B, D, E の 2 条件間で、後方近位部最大値が被験者 B, C, E の 2 条件間で有意に増加した。前脛骨筋筋電図における%MVC (同筋の最大随意収縮時の値に対する%) の最大値は、後壁が低くなるほど、B・C では増加傾向、D・E では減少傾向がみられた。腓腹筋筋電図の%MVC の最大値は、後壁が低くなるほど A・E では減少傾向、B では増加傾向がみられた。股関節屈曲角最大値は、後壁が低くなるほど B で増加傾向がみられた。股関節伸展角最大値は、後壁が低くなるほど B・C では減少傾向、D・E では増加傾向がみられた。

個人要因としては断端長が股関節の屈曲伸展角度に影響し、短い場合はソケット後壁の高さが低くなるほど屈曲角度が増加し、かつ伸展角度が減少した。長い場合は股関節の伸展角度が増加した。断端長は前脛骨筋の活動にも影響し、短い場合はソケット後壁の高さが低くなるほど増加し、長い場合は逆に減少した。腓腹筋活動は、荷重応答期において、ソケット後壁面高さが低くなるほど被験者全体としては減少する傾向がみられたが、断端長が長く、かつ身長が低い場合は減少し、断端が短く、かつ身長が高い場合は増加した。以上のように、ソケット後壁面高さは、評価パラメータに影響することを明らかにし、かつ両者の関係には断端長および身長が関与することを明らかにした。

審査結果の要旨

本論文は、下腿義足のソケットの後壁面高さおよびソケット内面の接触圧力および歩行の動態との関係について明らかにすることを目的としている。そのために、ソケットの後壁面高さだけを調節できる機構を自作し、ソケット内面接触圧力、下肢筋電図、下肢キネマティクス、床反力を同時測定する実験系を構築した。このように科学的な方法による問題の究明は従来行われておらず、本研究の新規性が認められる。

被験者 5 名を用いた実験から、32 個の分析パラメータについて統計学的手法を用いて、被験者全体および被験者内で、ソケット後壁面高さが分析パラメータに与える影響について詳しく分析している。測定法も分析法も科学的に問題なく、実験事実に基づいて、ソケット後壁面高さがどのようなパラメータに影響するかを明らかにし、かつそれに関与する個人要因の特定にも成功している。この成果は下腿義足の最適設計に関する基礎データを与えるものであり、義肢装具学における臨床的有用性が高い。さらに、生体計測や生体信号処理などの工学的観点からも実験系の有効性が認められる。

本論文は、工学と義肢装具学の学際領域に関する研究であるが、義足製作上の問題に対して先端的な生体計測およびデータ処理・分析法を駆使して解決している点に工学的な独創性が認められる。科学的な実験を通して仮説検定するとともに、その仮説に影響する個人要因および今後の課題についても明らかにしている。よって、本論文は博士 (工学) の博士論文として十分であると認定した。