

令和元年6月4日現在

機関番号：21102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01459

研究課題名(和文) 上肢・体幹運動による有酸素運動の下肢末梢循環に与える影響

研究課題名(英文) Nordic pole walking improves the circulation of feet

研究代表者

渡部 一郎 (Watanabe, Ichiro)

青森県立保健大学・健康科学部・教授

研究者番号：50241336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、糖尿病に伴う下腿循環障害が増加している。糖尿病では末梢神経障害を認めるため、歩行による障害が認知されず足趾や脚アーチの損傷や動脈狭窄の増加が、欧米や我が国で増加してきた。高齢者ではノルディック杖を用いた歩行は、転倒予防や安全な歩行運動となり近年推奨されている。一方、軽量の杖の使用は、上肢体幹運動を伴う為、同じトレッドミル上の4METsの有酸素運動強度でも足趾・脚アーチに負担が少ない。杖なし歩行とノルディック杖歩行を行った。

母趾温は同じ運動強度のノルディック杖により母趾温において時間経過の有意な主効果を認めた。杖歩行が下肢末梢循環の改善に有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では、高齢化、生活習慣病、特に糖尿病の増加や末梢循環障害(peripheral artery disease: PAD)患者が著しく増加し、切断に至る重症下肢虚血(critical limb ischemia: CLI)も増加している。有酸素運動は、糖尿病の運動療法に積極的に取り入れられているが、知覚障害を伴う糖尿病では動脈硬化病変の原因となる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Recently, peripheral arterial disease and amputation of lower limbs due to diabetes mellitus have been increasing. We reported that the excessive aerobic exercise made it possible to reduce the blood flow of lower limbs. In this study, We analyzed skin temperature of toes and fingers with and without Nordic poles in the same metabolic equivalents(METs). (Methods) In six healthy young volunteers, we analyzed the skin temperature of toes and fingers during 5km/hour speed walking exercise(4.0METs) and 4.5km/hour speed walking with Nordic poles(4.0METs). (Conclusion) The difference in the skin temperature of forefinger between walking with poles and without poles was statistically significant. The skin temperature of hallux after walking with poles was significantly higher than that of walking without poles. We considered the exercise with upper limbs and trunk with Nordic poles could improve peripheral blood flow of lower limb.

研究分野：リハビリテーション医学、内科学

キーワード：ノルディック杖 上肢体感運動 有酸素運動 下肢血流障害 糖尿病 母趾温

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、糖尿病の罹患率の増加や高齢化に伴い、末梢循環障害患者が著しく増加している。我が国では、高齢化、生活習慣病、特に糖尿病の増加や末梢循環障害(peripheral artery disease:PAD)患者が著しく増加し、近年では、切断に至る重症下肢虚血(critical limb ischemia:CLI)例も増加し、労災や事故による切断は減少する一方、糖尿病などの末梢循環障害による下肢切断が60%以上に増加している。

(2) 糖尿病に対して、有酸素運動指導を行うが、健常人の有酸素運動強度でも運動開始直後では母趾温の血流低下が認められる。また近年は一日1万歩歩行などやり過ぎの歩行運動がむしろ下肢血流障害の原因として警告がなされている。

2. 研究の目的

我々の先行研究では、ノルディック杖歩行(以下、杖歩行)は、上肢・体幹運動が加わるため同じ歩行速度でも、杖なし歩行より運動強度の増加を示した。同じ歩行速度での杖歩行と杖なし歩行では杖歩行時の上肢体幹運動による同じ4METs(有酸素運動強度)になる歩行速度を一定に調整し、杖歩行が、杖なし歩行より、同じ運動強度でも、下肢循環障害を防止する運動指導法を検討した。

3. 研究の方法

(1) 20代の男性6例に対し、トレッドミル(オートランナーAR-200、ミナト医科学株式会社、日本)を用い、杖なし歩行と、ノルディックポール(LEKI、キャラバン社、CZECH REPUBLIC)(図1)杖歩行を行った。室温、湿度を一定の環境に保ち、室温湿度(室温: $26.7 \pm 0.1 \sim 27.0 \pm 0.2$ 、湿度: $51.0 \pm 1.6\% \sim 51.4 \pm 1.5\%$)を記録した。呼吸代謝装置(エアロモニタ、AE-300S、ミナト医科学社、大阪)を装着した。表在温度の測定は連続測定電子体温計(テルモファイナー、CTM-303、テルモ株式会社、東京)とカテーテル型体表面プローブ(ME-PDK061)を用い、実験開始直後から実験終了時まで連続記録した。サーモグラフィ(i-5、FLIR、USA)を用いて歩行開始直前と歩行運動終了直後、10分間安静直後の両足趾部を撮影した。

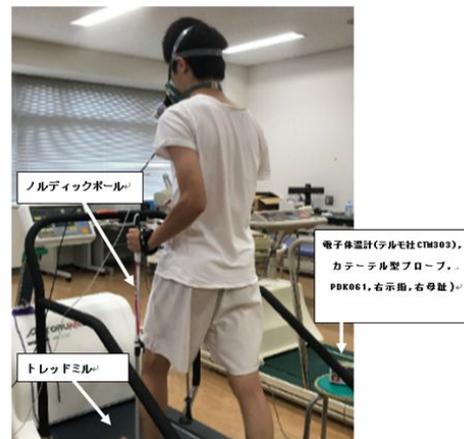


図1. 実験風景(杖歩行)

トレッドミル上で4METsの有酸素運動強度の杖なし歩行とノルディック杖歩行をそれぞれ別の実験として行った。対象者の服装は、半袖、ハーフパンツ着用とした(図1)。ソックスは着用せず、足趾が露出するサンダルを着用した。

(2) ノルディック杖について

杖歩行パターンは日本式(前脚の踵付近に垂直に杖を突く歩行様式)とし、トレッドミル上で歩行練習を実施した。杖の長さは、杖を把持した際の肘関節の角度が90°屈曲位となるように設定し、身長 $\times 0.67$ となるよう設定した。右示指体表温計測センサーを装着しているため右手杖は、母指と第3-5指で把持させた。

(3) 有酸素運動開始前

対象者は実験室入出後、室温馴化のため、表在温度が安定するまで10分間以上、背もたれ付きの椅子で安静座位をとった。

(4) 有酸素運動実施

皮膚温が一定となった後トレッドミル上で、4METsの運動強度となるよう、30秒毎に速度を漸増し、杖なし歩行では5.0km/h、杖歩行では4.5km/hの歩行速度で20分間連続の歩行運動を行った。その後20秒毎に速度を減少させ、歩行運動終了後、10分間の安静座位で心拍数、METs(運動強度)、示指温、母趾温の計測を継続した。

(5) 統計処理

心拍数、METs(運動強度)、右上肢示指温、母趾温について、運動の種類〔杖なし歩行、杖歩行〕、時間経過〔運動前、3分、6分、9分、12分、15分、18分、21分、24分、27分、30分、33分〕を2要因とし、繰り返しのある二元配置分散分析[2-way repeated-measure ANOVA(analysis of variance)]を行い、有意差が認められた場合、事後検定としてBonferroni

の多重比較検定を行った。心拍数、METs(運動強度)、右上肢示指温、母趾温で、歩行の種類〔杖なし歩行、杖歩行〕それぞれについて時間経過〔運動前、3分、6分、9分、12分、15分、18分、21分、24分、27分、30分、33分〕を1要因とし、繰り返しのある一元配置分散分析[one-way repeated-measure ANOVA(analysis of variance)]を行い、事後検定としてBonferroniの多重比較検定を行った。統計には統計解析ソフト(IBM SPSS Statistic 24, IBM Japan, Ltd, 東京)を用い、有意水準は $p<0.05$ とした。

4. 研究成果

(1) 心拍数について、運動の種類〔杖なし歩行、杖歩行〕×時間経過〔運動前、3分、6分、9分、12分、15分、18分、21分、24分、27分、30分、33分〕の2-way repeated-measure ANOVAを行った結果、交互作用を認めなかった。杖なし歩行と杖歩行の運動の種類の違いについても、有意差を認めなかった。時間経過[F(11,55)=43.204, $p<0.001$, n=6]については、有意な主効果を認めた。杖なし歩行の多重比較検定では、運動前と比較し、歩行3分($p=0.025$)、歩行6分($p=0.037$)、歩行12分($p=0.030$)、歩行15分($p=0.047$)の杖なし歩行で有意に心拍数が増加した。杖歩行では心拍数に有意の変動は認めなかった。

(2) 総消費エネルギー量

総消費エネルギー量は、杖なし歩行で 86.5 ± 5.3 kcal、杖歩行では 90.3 ± 6.5 kcal で、有意差は認められなかった。

(3) METs(運動強度)

METsについて、運動の種類〔杖なし歩行、杖歩行〕×時間経過〔運動前、3分、6分、9分、12分、15分、18分、21分、24分、27分、30分、33分〕の2-way repeated-measure ANOVAを行った結果、交互作用を認めなかった。杖なし歩行と杖歩行の運動の種類の違いについても、有意差を認めなかった(図2)。時間経過

[F(11,55)=236.031, $p<0.001$, n=6]では有意な主効果を認めた。杖なし歩行の多重比較検定では、時間経過の主効果を認め [F(11,55)=133.611, $p<0.001$, n=6]、運動前と比較し、歩行3分($p=0.032$)、歩行9分($p=0.020$)、歩行12分($p=0.039$)、歩行15分($p=0.015$)、歩行18分($p=0.027$)、歩行21分($p=0.015$)の杖なし歩行で有意に運動強度(METs)が増加した。また、杖歩行の多重比較検定でも、時間経過の主効果を認め [F(11,55)=127.035, $p<0.001$, n=6]、歩行3分($p=0.005$)、歩行6分($p=0.003$)、歩行9分($p<0.001$)、歩行12分($p=0.002$)、歩行15分($p=0.001$)、歩行18分($p=0.005$)、歩行21分($p=0.004$)の杖歩行では、運動前より有意に運動強度(METs)の増加を示した。

(4) 右上肢示指温

示指温について、運動の種類×時間経過の2-way repeated - measure ANOVAを行った結果、交互作用を認めた [F(11,55)=2.382, $p=0.017$, n=6]。杖なし歩行と杖歩行の運動の種類の違いについても、有意の差を認めた[F(1,5)=8.808, $p=0.031$, n=6]。時間経過の各水準における運動の種類単純主効果の検定では、歩行18分の杖なし歩行に比べ、歩行18分の杖歩行[F(1,5)=7.418, $p=0.041$, n=6]、歩行21分の杖なし歩行に比べ歩行21分の杖歩行[F(1,5)=11.167, $p=0.021$, n=6]、24分の杖なし歩行に比べ、24分の杖歩行[F(1,5)=12.686, $p=0.016$, n=6]、27分の杖なし歩行に比べ、27分の杖歩行[F(1,5)=11.045, $p=0.021$, n=6]で有意に示指温が増加した。また、時間経過[F(11,55)=20.851, $p<0.001$, n=6]に有意な主効果を認めた。杖なし歩行の多重比較検定では、時間経過の主効果を認め [F(11,55)=19.491, $p<0.001$, n=6]、運動前と比較し、歩行3分($p=0.016$)の杖なし歩行で有意に示指温が低下した。また歩行3分の杖なし歩行と比較し、30分($p=0.039$)の杖なし歩行では有意に示指温が上昇した。杖歩行の多重比較検定においても、時間経過の主効果を認めた[F(11,55)=14.362, $p<0.001$, n=6]。歩行3分の杖歩行と比較し、33分($p=0.034$)の杖歩行で有意に示指温が上昇した。歩行6分の杖歩行と比較し、24分($p=0.031$)、27分($p=0.017$)、30分($p=0.016$)、33分($p=0.037$)の杖歩行で有意に示指温が上昇した。歩行9分の杖歩行と比較し、歩行15分($p=0.042$)、24分($p=0.029$)の杖歩行で有意に示指温が上昇した。歩行12分の杖歩行と比較し、30分($p=0.016$)の杖歩行で有意に示指

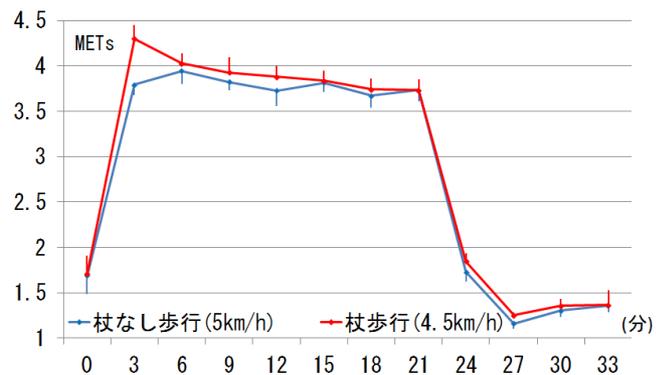


図2. 運動強度(METs)の推移

運動強度(METs)は、運動の種類×時間経過の交互作用、運動の種類での有意差はないが時間経過に伴い増加し、運動後に低下を示した。杖なし歩行(5km/h)、杖歩行(4.5km/h)は、歩行速度の設定で、歩行運動後半では、ほとんど同じ運動強度になることが示された。特に、時系列21分=運動終了直前の杖なし歩行と、杖歩行の検討では、杖なし歩行 3.73 ± 0.13 METs、杖歩行 $=3.73 \pm 0.12$ METsと極めて良く一致した(平均値±Standard Error)。

温が上昇した。

(5) 右下肢母趾温

母趾温について、運動の種類 × 時間経過の 2-way repeated - measure ANOVA を行った結果、交互作用は認めなかった。杖なし歩行と杖歩行の運動の種類の違いについては、有意差を認めなかった。時間経過 [F(11,55)=34.451、p<0.001、n=6] に有意な主効果を認めた。杖なし歩行の多重比較検定では、時間経過の主効果を認め [F(11,55)=14.218、p<0.001、n=6]、運動前と比較し、歩行 3 分 (p=0.017)、歩行 6 分 (p=0.014) の杖なし歩行で有意に母趾温が低下した。また、歩行 9 分の杖なし歩行と比較し、30 分 (p=0.025)、33 分 (p=0.032) の杖なし歩行で有意に母趾温が上昇した。また、歩行 12 分の杖なし歩行と比較し、30 分 (p=0.032) の杖なし歩行で有意に母趾温が上昇した。杖歩行の多重比較検定においても、時間経過の主効果を認めた [F(11,55)=23.765、p<0.001、n=6]。歩行 3 分の杖歩行と比較し、27 分 (p=0.041)、30 分 (p=0.021)、33 分 (p=0.027) の杖歩行で有意に母趾温が上昇した。歩行 6 分の杖歩行と比較し、30 分 (p=0.037)、33 分 (p=0.020) の杖歩行で有意に母趾温が上昇した。歩行 9 分の杖歩行と比較し、歩行 18 分 (p=0.020)、歩行 21 分 (p=0.001)、27 分 (p=0.047)、30 分 (p=0.040)、33 分 (p=0.048) の杖歩行で有意に母趾温が上昇した。また、歩行 12 分の杖歩行と比較し、30 分 (p=0.033)、33 分 (p=0.035) の杖歩行で有意に母趾温が上昇した(図 3)。

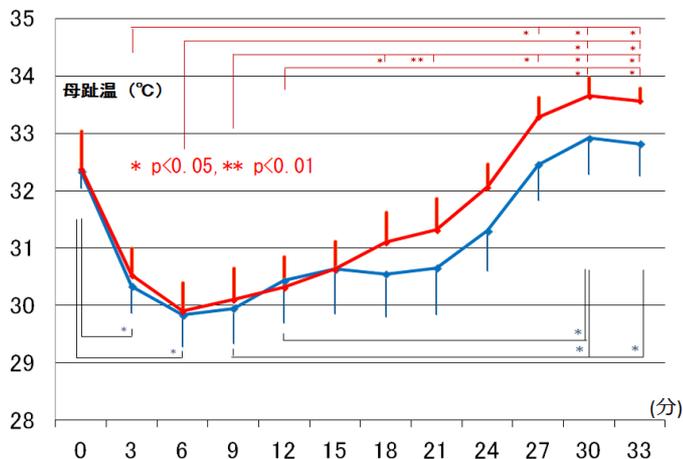


図 3. 右母趾温の推移
時間経過において、杖なし歩行では有意の右母趾温の低下が示され、杖歩行では運動後 9 分の時点と比べ、歩行運動後 18 分後、歩行運動後 24 ~ 33 分後(運動後安静時)より、有意に高値を示した。運動後、杖歩行の母趾温は、杖なし歩行の母趾温より、高値を示した (平均値 ± Standard Error)。* : p<0.05, ** : p<0.01.

(6) サーモグラフィの温度変化

杖なし歩行、杖歩行による母趾温を含めた足趾のサーモグラフィの変化(1例)は、図 3 で示す通り、歩行運動後に皮膚温回復に差異を認め、杖歩行では足趾温の上昇が示され、運動終了後安静 10 分後では杖歩行の足趾温のさらなる上昇を示した(図 4)。

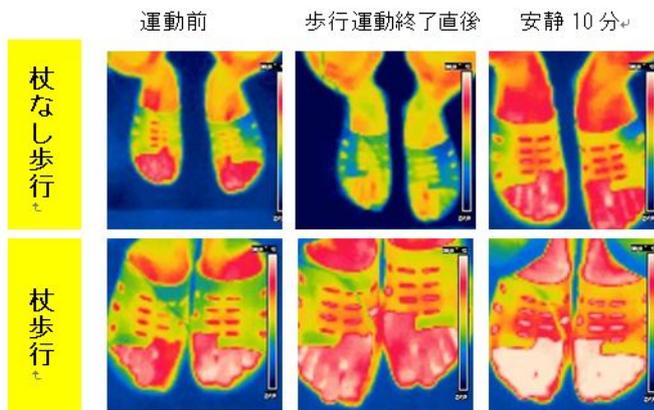


図 4. 両足趾表在温度の変化
左から歩行前、歩行終了後、安静 10 分後の皮膚温の経過を示す。上段は杖なし歩行、下段は杖歩行を示す。足趾表在温は歩行終了直後では、杖なし歩行では著明に低下(上中図)したが、同時系列の杖歩行終了後の母趾温はほぼ運動前に近い熱画像への回復を示した。運動終了安静 10 分後では杖なし歩行の皮膚温回復(右上図)に比べ、杖歩行後の足趾温の明らかな上昇を示した(右下図)。(温度軸：最低 25.0 ~ 最高 36.0)

<引用文献>

陳 隆明、辻 哲也、リハビリテーション医学白書 2013 年版、小児疾患のリハビリテーション、医歯薬出版、194-201、2013
幸田 聡、川初 清典、山本 敬三、ノルディックウォーキング用ポールによるスリッパ転倒回避の効果、電子情報通信学会、3 巻、13-16、2007
青柳 幸利、やっではないけないウォーキング、SB 新書、2016
渡部 一郎、渡部 朋子、顕微鏡血流観察による有酸素運動前後の毛細血管血流速度の定量、日温気誌、78 巻、4、353-362、2015
渡部 一郎、熊谷 光太郎、渋谷 遥、ノルディック杖歩行運動の呼吸代謝・末梢循環動態に与える影響、Biomedical Thermology、Vol. 36、No.2、40-44、2017
山崎 文夫、白木 啓三、運動と体温調節、The journal of clinical sports medicine、Vol .

14、No.7、715-720、1997

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

渡部 一郎、渡部 朋子、ノルディック杖い歩行による手指・足趾の体表温の検討、Biomedical Thermology、査読有、Vol.38、No.2、19-25、2019

渡部 一郎、熊谷 光太郎、渋谷 遥、ノルディック杖歩行運動の呼吸代謝・末梢循環動態に与える影響、Biomedical Thermology、査読有、Vol.36、No.2、40-44、2017

[学会発表](計2件)

渡部 一郎、糖尿病有酸素運動が末梢循環に及ぼす影響、Biomedical Thermology、2017

渡部 一郎、脳卒中肩手症候群の評価と治療アプローチ、Biomedical Thermology、2017

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：渡部 一郎

ローマ字氏名：Watanabe Ichiro

所属研究機関名：青森県立保健大学

部局名：理学療法学科

職名：教授

研究者番号(8桁)：50241336

(2)研究協力者

研究協力者氏名：長門 五城

ローマ字氏名：Nagato Itsuki

(3)研究協力者

研究協力者氏名：渡部 朋子

ローマ字氏名：Watanabe Tomoko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。