回内足，回外足，偏平足，ハイアーチといった足部障害の矯正または成長期における予防インナーソックスの開発計画

慶應義塾大学　仰木裕嗣
（共同研究者）同　今村健一郎
同　渡辺俊

Development of the Correction / Prevention Inner Socks for the Foot Alignment Malfunction
― Inner Socks for the Valgus, Club, Flat and High Arch Foot Adults and Adolescents ―

by

Yuji Ohgi, Kenichirou Imamura, Shun Watanabe
Keio University,
Graduate School of Media and Governance

ABSTRACT

In this study, the authors focused on the malfunction of the foot alignment with both the flat foot and high arch adults. In order to correct and prevent these abnormal alignments, the authors developed two types of inner socks. In advance to our assessment, the authors conducted a pilot study for the categorization of the subject's foot type by using foot pressure sensor. As a result, three types of subjects were selected, such as flat foot, high arch foot and normal foot. In order to evaluate the load stress and the joint moment of the lower extremities quantitatively, the authors conducted first experiment stage for these subjects groups. In this stage, each subject involved in the normal walking test and the step down test from the 40cm height stair. We adopted the joint moment with the hip, knee and

ankle joint as the load of the subjects lower extremity in this study. With first experimental results and the athletic taping method, the authors developed type A and type B socks for both the flat foot and the high arch subjects. For the performance assessment of these two types of socks, the second experiment was conducted. As a result of walking test in the second experiment, type A socks contributes to decrease the magnitude of joint moments with the ankle plantar flexion/inversion and the knee flexion/abduction. However, type B sock for the high arch foot subjects, there is no evidence to reduce any joint moments on their lower extremity.

要　旨

本研究では足部アライメント異常の中でも偏平足とハイアーチを研究対象とし，足部アライメント異常の矯正および予防を目的としたインナーソックスの試作に取り組んだ．まず足圧分布測定器を用いて偏平足，ハイアーチ，正常足の被験者を選別し，下肢関節群（股関節，膝関節，足関節）にかかる負荷に違いがみられるかを検証する目的で実験1を行った．実験1は歩行実験と高さ40cmの台から片足で降りる着地実験とした．下肢関節の負荷は，各下肢関節に働く関節モーメントを負荷とした．

次に，実験1の結果とテーピング処方を参考に，偏平足用のAタイプソックスとハイアーチ用のBタイプソックスを試作した．これらの効果を検証する目的で，実験2を行った．実験2からは，偏平足の被験者がAタイプソックスを履くことにより，歩行実験から着地時の膝関節外転モーメント，着地実験から着地時の足関節底屈モーメント，足関節内反モーメント，膝関節屈曲モーメント，膝関節外転モーメントが小さくなる傾向が確認できた．しかし，ハイアーチ用のBタイプソックスからは各関節にかかる負荷を軽減される効果は確認できなかった．

緒　言

直立二足歩行時に踵を通じて受ける衝撃は脳底を0.5mm揺さぶるほどであると考えられている．また，顎の部分で計測した場合体重の約半分に相当する衝撃が伝わることも知られている．これは全ての器官がうまく衝撃を吸収した場合で，足部障害や下肢のアライメントが崩れると，歩く度に体重の半分を超える衝撃が頭まで伝わることになる．足から得られる感覚情報は常に求心性神経により脳に送られている．その情報は大脳で処理され，全身の筋出力制御として用いられる．しかし，足部に障害がある場合，足部から伝わる感覚信号は通常歩行・走行とは異なる筋出力をさせるための入力として機能してしまい，まっすぐ歩行するために緊張させるべき筋肉を緩め，緩めるべき筋肉を緊張させることになるであろう．このような全身の筋のアンバランス状態が出現してしまうことは望ましくはなかろう．この状態で日常生活を送ると，その代償は身体のあちらこちらに不快な痛みを伴う症状として出てくる．たとえば，足部が偏平足の場合，シンスプリント（脛骨疲労性骨膜炎），足底腱膜炎，腰痛，背中痛，膝痛などの故障の原因にもなると考えられている．このような足部障害に対する先行研究は多種多様に行われ，それらの障害の処方策としてシューズ，テーピング処方，サポーター，インソール等が提案され，最近になってソックスによる処方策も提案されはじめた．しかし，偏平足，ハイアーチといった足部のアライメント異常が身体のどの部分に負荷を与え，テーピング，サポーター，ソックスなどの処

方策による足部矯正が身体にかかる負荷を軽減できているのかを検証する研究はほとんどなかった.

1. 目　的

そこで本研究ではこうした足部のアライメント異常を矯正するためのインナーソックスを開発し,これを用いた矯正効果の定量的評価を行うことを目的とした.

2. 方　法

研究は被験者の選別に必要とされる予備実験を経た後,以下に述べる二つの実験によって進めた.

実験1：偏平足とハイアーチ被験者の下肢関節群に作用する負荷の違いの検証.

実験2：矯正インナーソックスが下肢関節群に及ぼす影響の検証.

2. 1　実験1

実験1は,偏平足とハイアーチの場合の下肢関節にかかる負荷の違いの検証を目的とした.そこで,正常足の被験者を基準とし,偏平足,ハイアーチ,正常足の被験者群による統制された実験条件下における通常歩行を対象とした実験（以下,歩行実験）を行った.また,偏平足とハイアーチは足裏のアーチの高さに違いがあることから,階段を降りる場合やジャンプをした時などの着地衝撃に違いがあると考えられている.そこで40cmの高さの台から片足で着地する実験（以下,着地実験）を行った.

2. 1. 1　被験者および実験条件

被験者は,健常若年男性82人から足圧分布測定器（GAITVIEW,梅宮産業製）を用いて,偏平足6人,ハイアーチ6人,正常足6人を選別した（図1）.被験者緒元は,表1に示す通りである.なお全ての被験者は,歩行障害がないと被験者自身が自覚している.また,被験者には実験前に研究の趣旨を説明し,被験者全員から実験前にインフォームドコンセントを得た.

歩行実験では,対象動作は歩行路（長さ1.8m × 4=7.2m,幅0.9m）とフォースプレート2台（長さ0.6m × 2=1.2m,幅0.4m,Kistler社製）で構成された歩行路上の約7m上の裸足歩行であ

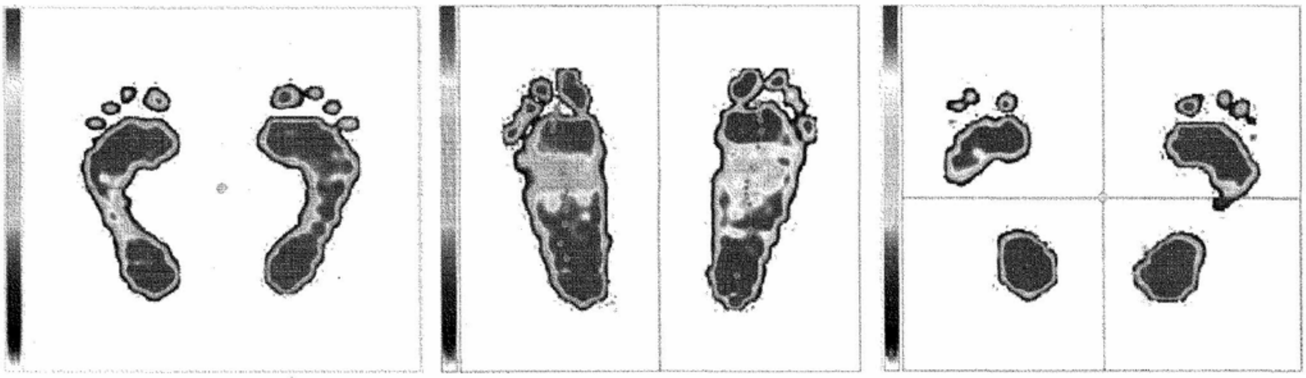

図1　足圧分布測定器によって分類された被験者群

表1　被験者緒元

Sub.	n数	年齢	身長［cm］	体重［kg］	足サイズ［cm］
Flat Foot	6	20.5 ± 1.2	171.7 ± 8.7	64.5 ± 7.4	26.9 ± 1.6
High Arch	6	23.0 ± 4.0	174.8 ± 11.0	70.0 ± 1.9	26.7 ± 1.9
Normal Foot	6	24.0 ± 1.9	171.8 ± 5.5	66.2 ± 7.9	25.7 ± 0.9

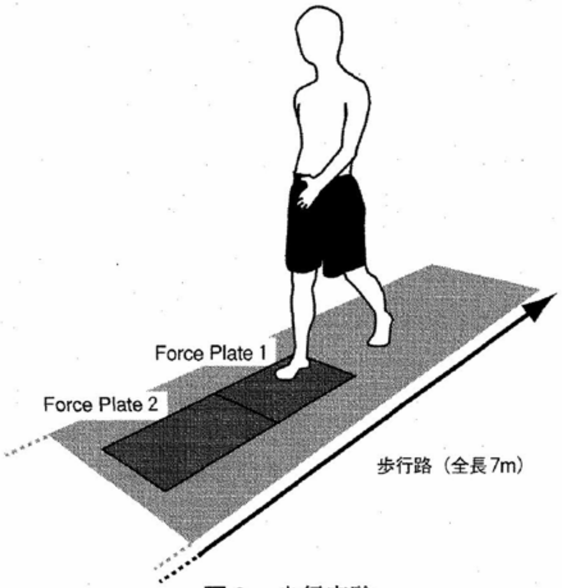

図2　歩行実験

る（図2）．歩行速度は，各被験者が普段歩いている任意の速度（通常歩行）とした．また，各被験者に1台目のフォースプレートに右足部，2台目に左足部が接地するように練習を繰り返し行わせ，できるだけ自然な歩行ができることを確認した上で実験を行い，これらの条件の歩行データをそれぞれ5試技ずつ得た．

着地実験では，高さ40cmの台の上から裸足でフォースプレート2台の上に右足，左足の片足ずつ順に降りる試技と，左足，右足の順に降りる試技をそれぞれ5回ずつ計10試技行った（図3）．

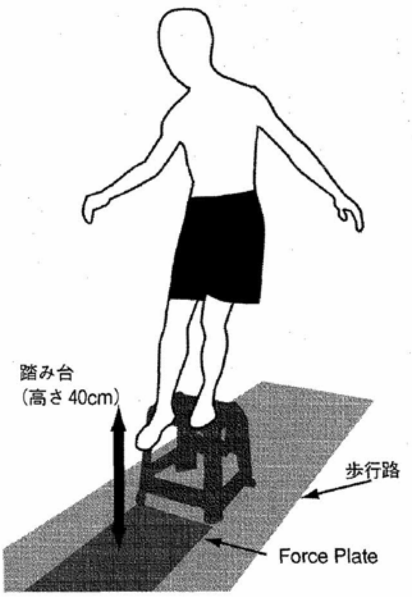

図3　階段による着地実験

被験者には，直径14mmの反射マーカーを用いて，下肢25点（仙骨，上前腸骨稜，大転子，大腿，外膝，内膝，下腿，外足首，内足首，踵，第一中足骨，第二中足骨，第五中足骨）の体節基準点に取り付けた．撮影は慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスが保有するMAC 3D System（Motion Analysis 社製）のEagleカメラ12台を用いて，サンプリング周波数250Hzで行い，被験者に取り付けたマーカーの3次元座標を収集した．フォースプレート2台を用いて，実験中の床反力を，サンプリング周波数1kHzで計測した．

2．1．2　関節モーメントによる下肢関節の負荷評価

実験1ではその定量評価尺度として，関節モーメントの比較に重点をおいた．その理由としてはリハビリテーション現場の医師・理学療法士といった臨床家にとっては正しいモーメントが算出されていれば，関節への負荷，関節回りの筋群が発揮したパワーなどは，解剖学の知識や障害者の身体状況から推定できるとされていることにある．そこで，各下肢関節に作用する負荷を検証するために，モーションキャプチャー装置から獲得した3次元位置座標データおよびフォースプレートからの床反力データを使い，剛体リンクモデルを仮定し，各下肢関節の関節モーメントを算出した．

歩行実験の場合は，踵接地からつま先離地までの一歩行周期中の左または右の立脚期を分析対象区間とした．着地実験の場合は，最初の左または右脚の着地接地時を分析対象区間とした．異なる着地および歩行周期をもつデータ間での比較を行うため，各指標算出後にスプライン補間を用いて分析対象区間を一定のデータ長に統一し，各立脚期を100%として時間の正規化を行った．また，被験者間の体格差による影響を除去する目的で，関節モーメントは，体重［kg］と各セグメント長［m］の積で除することによって規格化した．デ

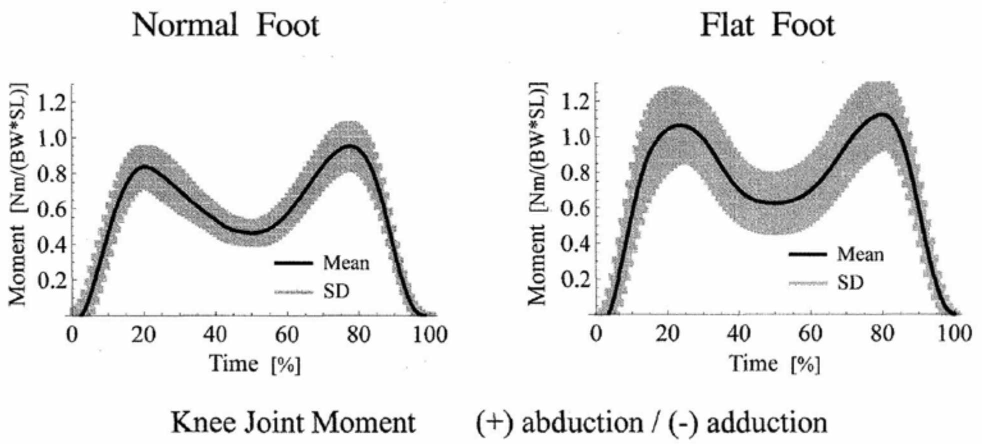

図4　実験1の歩行実験における膝関節内外転モーメント（正常足群と偏平足群との比較）

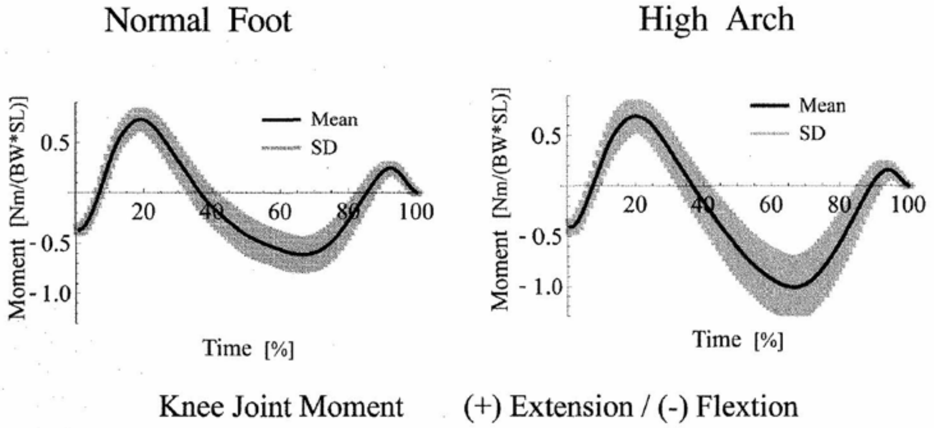

図5　実験1の歩行実験における膝関節屈曲伸展モーメント（正常足群とハイアーチ群との比較）

ータのサンプリングにおいては目視により，フォースプレートを規定通りに踏み，正しく計測されたデータを選別した後，計測およびデータ算出後，残差分析から遮断周波数を10Hzとし，2次のバタワース型ローパスフィルタを時系列的に双方からかけて平滑化を行った．

2．1．3　実験1における歩行実験結果

図4に示すように歩行実験から正常足被験者群に比較して偏平足被験者群の場合，着地時の膝関節外転モーメントのピーク値が大きいことが分った．ハイアーチ被験者群の場合は，図5が示すよう正常足群に比較して離地前の膝関節屈曲伸展モーメントのピーク値が大きいことが分った．図6

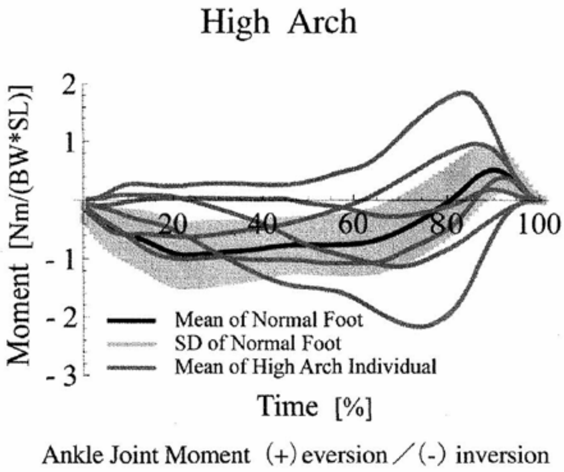

図6　実験1の歩行実験における足関節内外反モーメント（正常足群の平均値および標準偏差，ならびに各ハイアーチ被験者ごとの平均時間履歴）

は足関節内外反モーメントを示している．図6からハイアーチ被験者群の場合，足関節内外反モー

メントに顕著な違いが明らかとなった．すなわち，正常足被験者群の場合，着地時から離地前まで内反モーメントが働き，離地寸前で外反モーメントが働く傾向があるのに対して，ハイアーチの場合は，このような統一した傾向がみられず，離地寸前に強い内反モーメントか外反モーメントのいずれかが働く傾向がみられた．

2．1．4　実験1における着地実験結果

図7に示すように着地実験から偏平足被験者群の場合，正常足被験者群に比較して足関節底屈モーメント，足関節内反モーメント，膝関節伸展モーメント，膝関節外転モーメントの着地時のピークがいずれも高いことが分った．ハイアーチ被験者群の場合は，すべての各関節モーメントが正常足とほとんど同じか，それより小さい値であった．

2．2　開発したインナーソックスの機能と構造

偏平足の矯正や足裏アーチを上方にひき上げるテーピング処方を参考に，図8のようなAタイプ

図8　偏平足矯正用ソックス（Aタイプソックス）

ソックスを試作した．参考とするテーピング技法におけるテーピング走向方向と同じ方向に強伸縮性のゴムを熱接合により貼り付け，踵部分を切り抜くことでよりアーチの形成を強めた．また，五指ソックスになっているのは，試作段階で強伸縮性のゴムを貼り付けた影響で，足指間の圧迫感が強く感じられたためである．

ソックスの構造上，足裏アーチを下げるソックスを作るのは非常に困難であった．すなわち，ハイアーチの場合，甲高である足部を上部から押さえつけるような力がソックス自体に求められるが，足部先端（爪先）から踵にかけて全体を上部からソックスそのもので押さえつけるのは繊維素材だけでは難しい．そこで，実験1の歩行実験において足関節に負荷がかかる傾向が見られたことから，足関節を安定させ，負荷を軽減させる目的でテーピングおよびバンテージ処方の「エイトロック」を参考に図9のようなBタイプソックスを試作し

図9　ハイアーチ矯正用ソックス（Bタイプソックス）

た．「エイトロック」でのテーピングの走向方向に，非伸縮性のゴムテープを熱接合により貼り付けた．また，テーピングやバンテージ処方では，足部と下腿部が90度になるように足関節を背屈させてから処方することを考慮し，開発したBタイプソックスにはL字ソックスを採用した．

2．3　実験2

実験2は，偏平足の被験者がAタイプソックスを履いた場合とハイアーチの被験者がBタイプソ

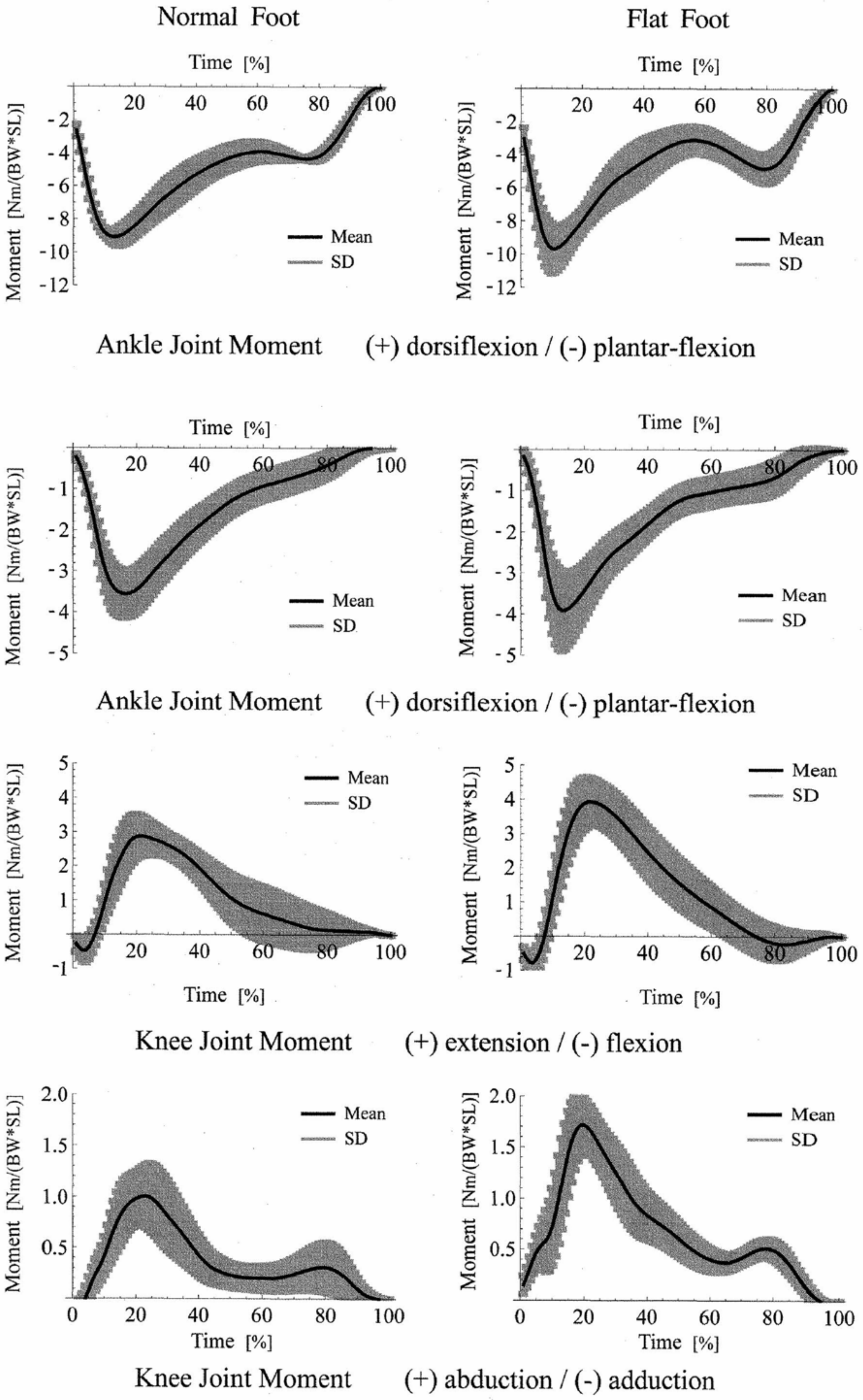

図7　実験1の着地実験における下肢関節モーメント（正常足群と偏平足群との比較）

ックスを履いた場合，各下肢関節にかかる負荷を軽減できるか否かを検証する目的で行った．実験方法，解析および検証方法は，実験1に従った．被験者は，実験1と同じで，偏平足の被験者にAタイプソックスを，ハイアーチの被験者にBタイプソックスを履かせ，実験1と同様の試技条件下での歩行実験と着地実験を行った．

2．3．1　実験2における歩行実験結果

実験1の歩行実験の結果を考慮し，偏平足被験者群のAタイプソックス着用時と非着用時の膝関節内外転モーメントの比較を図10に示した．図10からAタイプのソックスを着用すると，偏平足被験者群において 膝関節外転モーメントが小さくなることが明らかとなった．また，ハイアーチ被験者のBタイプソックス着用時と非着用時の膝関節屈曲伸展モーメントを図11に示した．ハイアーチ被験者群がBタイプソックスを着用した際の足関節内外反モーメントの変化については図12に示した．図11からは，膝関節屈曲モーメント変化は確認できなかった．足関節内外反モーメントの比較を示す図12からは正常足被験者の足関節内外反モーメントが接地前半期には内反モーメントを示し，後期には外反モーメントを示す特有の傾向を示すのに対して，Bタイプソックスの矯正を行ってもなお被験者間に大きなばらつきがあることが確認できる．すなわち，足関節モーメントの負荷を軽減・変化させる効果がBタイプソックスにはなかったと考えられる．

2．3．2　実験2における着地実験結果

実験1の着地実験の結果を考慮し，偏平足被験者群のAタイプソックス着用時と非着用時の足関節底屈モーメント，足関節内反モーメント，膝関

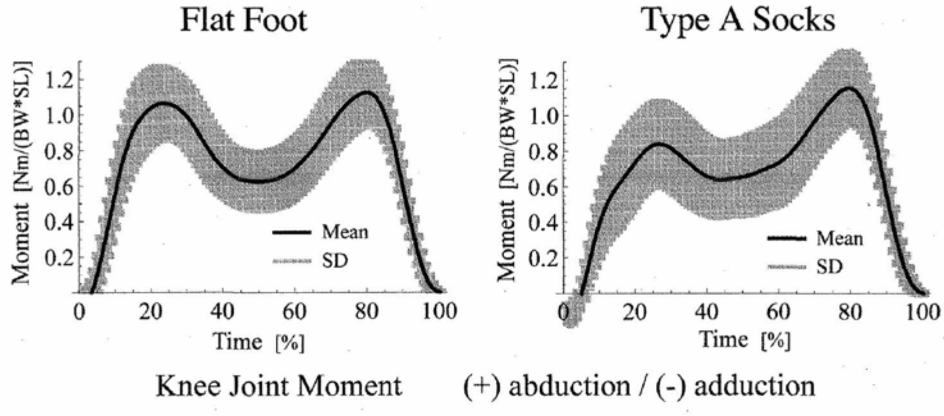

図10　実験2の偏平足被験者群における歩行時膝関節内外転モーメント
（ソックス着用なし，およびAタイプソックス着用）

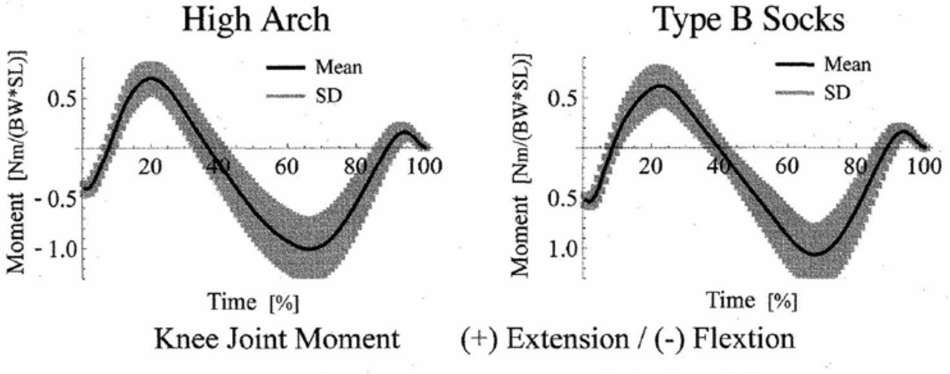

図11　実験2のハイアーチ被験者群における歩行時膝関節屈曲伸展モーメント
（ソックス着用なし，およびBタイプソックス着用）

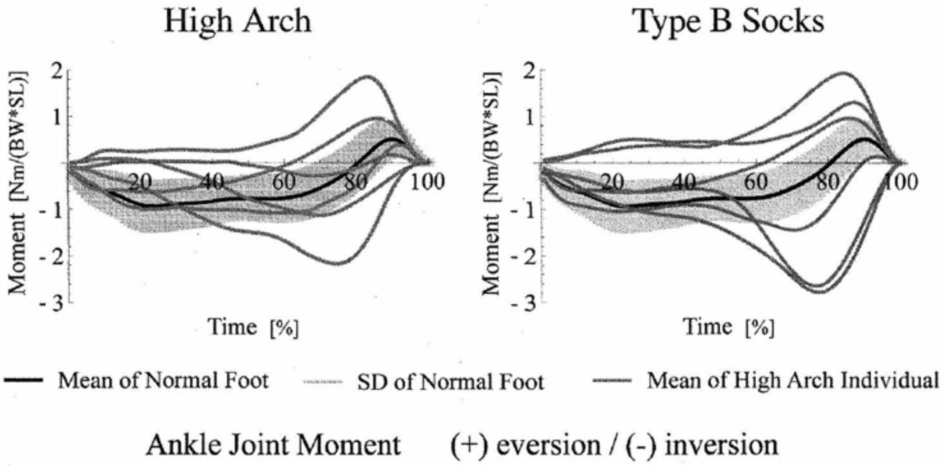

図12　実験2のハイアーチ被験者群における歩行時足関節内外反モーメント
（ソックス着用なし，およびBタイプソックス着用を正常群と比較したもの）

表2　偏平足矯正用ソックスの効果要約

	Experiment	Ankle Joint Moment		Knee Joint Moment	
		inversion	plantar-flexion	abduction	extention
Type A Socks	Walk	—	—	↘	—
	Step	↘	↘	↘	↘

節伸展モーメント，膝関節外転モーメントの比較を図13に示した．図13から，ここに挙げたすべての関節モーメントの着地時のピークが減少することが分った．

3．考　察

3．1　Aタイプソックスの下肢関節モーメントに与える影響

Aタイプソックスを着用した場合，偏平足の被験者の足裏にアーチが形成させていることが足圧分布測定器からも確認できた．足裏にアーチが形成されることによって今回の歩行実験から歩行中の膝関節の外転にかかる負荷が軽減できることが期待できる．また，着地実験から，高いところからの着地衝撃を足裏アーチが吸収することにより，足関節の底屈，内反にかかる負荷，膝関節の伸展，外転の負荷も軽減できることが期待できる．このような効果を考えると，偏平足によるシンスプリント（脛骨疲労性骨膜炎），膝痛などのリスクを軽減できる可能性と，成長期の子供にこのようなソックスを履かせることにより，足部，膝の怪我のリスクを小さくできる期待がもてる．Aタイプソックスを用いた際の関節モーメントへの影響については表2にまとめた．

3．2　Bタイプソックスの下肢関節モーメントに与える影響

Bタイプソックスは，着用時と非着用時の関節モーメントの変化はほとんどみられなかった．アーチを下げるソックスを開発するのはソックスの構造上困難なものであったので，今回開発したBタイプソックスはアーチをさげるものではなく，足関節の安定をコンセプトとしたものだったが，その効果は確認できなかった．今後，ハイアーチ用のソックス開発にはさらなる検討が必要であると考えている．

4．まとめ

足部矯正は正しい身体全体のアライメント矯正を促進し，怪我の予防，疲労軽減，綺麗なボディーライン作りにつながると考えられている．先述したように足部障害の対処方法として，テーピン

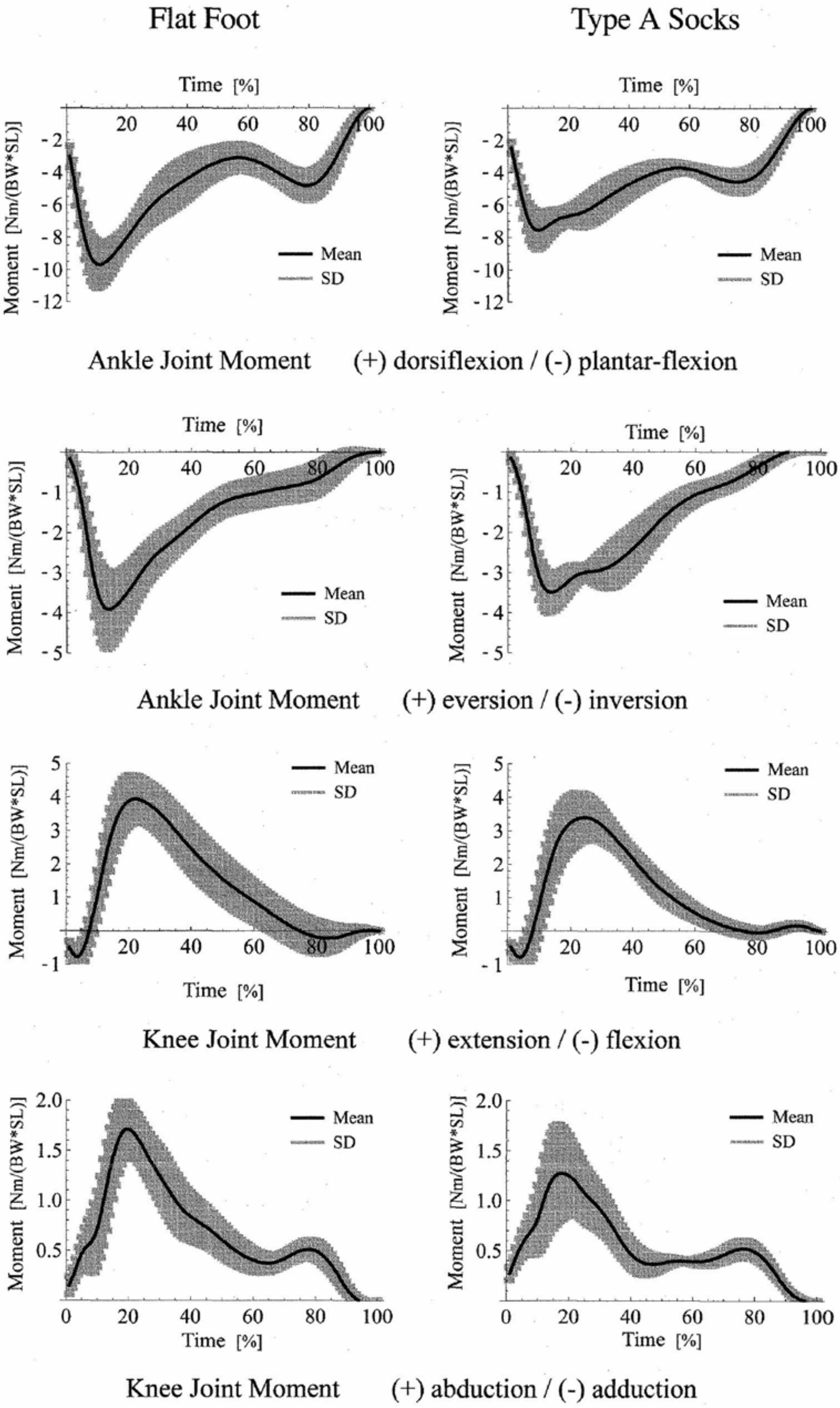

図13　実験の偏平足被験者群における着地実験結果
（ソックス着用なし，およびAタイプソックス着用）

グ方法，インソール，各障害用の靴等がこれまでも開発されている．しかし，ソックスでの矯正による具体的な効果の検証が行われた研究はほんどなかった．今回の研究によりソックスによるハイアーチの矯正は困難なものであることが分ったが，偏平足に対するソックスの処方策は十分に効果が期待できる．また，今回試作したAタイプソックスは常にアーチを高めようとする向きに力が働く構造になっていることから偏平足の予防としても十分効果が期待できる．このようなインナーソックスを開発する利点は二つある．一つは，これまでテーピングによって矯正してきた場合，テーピングを施術する人を探す必要がなくなること．二つ目は，インソールによって矯正していた場合，日常生活の状況に応じて選択される様々な靴に対してインソールを個別に用意しなければならないが，この手間をソックスだけで解消できることである．この二点は大変大きな意義を持っていると言える．さらに，日本特有の文化にもソックスは受け入れられ易いと考えている．日本人のほとんどは家に帰れば靴を脱いで生活する．つまり，矯正ソックスにより家の中でも足部矯正ができ，シューズやインソールの矯正より長い時間矯正効果が期待できると考えられる．今後，Aタイプソックスは製品化に向けて官能評価なども含めた研究を行い，誰もが簡単に足部矯正ができる製品の開発に取り組んでいきたいと考えている．

謝　辞

本研究を進めるにあたって矯正用ソックスの試作には株式会社ゴールドウィン社の多大なるご協力をいただきました．関係各位の皆様方には厚く御礼申し上げます．

本研究は（財）石本記念デサントスポーツ科学振興財団の助成を受けて遂行しました．この場を借りて厚く御礼申し上げます．

文　献

1) 阿江通良，日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数，*Jpn. J. of Sports Science*，15，155-162（1996）

2) Eastman, N.W., Study of supination and pronation in the talo-calcaneal joint of the foot. Thesis（M.S.），Springfield College（1958）

3) 江原義弘，山本澄子，関節モーメントによる歩行分析，医歯薬出版株式会社（2004）

4) Kitaoka, H.B., Luo, Z.P., An, K.N., Three-dimensional analysis of normal ankle and foot mobility, *American Journal of Sports Medicine*, 25, Issue 2, 238-242（1997）

5) Kume, N., Fujimura, J., Fujii, H., Efficiency of subtalar joint taping for foot department injury, *Japanese Journal of Judo Therapy 2004*, 13, Issue 2, p80（2004）

6) Lundberg, A., Svensson, O.K., Bylund, C.,Goldie, I., Selvik, G., Kinematics of the ankle/foot complex - part 2: pronation and supination., *Foot & Ankle*, 9, Issue 5, 248-253（1989）

7) Nester, C.J., Hutchins, S., Effect of foot orthoses on rearfoot complex kinematics during walking gai, Foot & Ankle International, 22, Issue 2, 133-139（2001）

8) Robbins, S., Waked, E., Rappel, R., Ankle taping improves proprioception before and after exercise in young men, *British Journal of Sports Medicine*, 29 Issue 4, 242-247（1995）

9) Rose, J., Gamble, J. G., Human Walking 3rd Ed., Lippincott Williams & Wilkins（2005）

10) 渡邉弘毅，歩行時の下肢運動が足圧中心軌跡に及ぼす影響と評価法の提案，東京工業大学大学院社会理工学研究科2007年度修士論文（2008）