

## カテゴリー

---

神経系, 歩行

## タイトル

---

### 足底のメカノレセプターについて

Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole [PubMed](#)

へ

Kennedy PM et al : J Physiol. 2002 Feb 1;538(Pt 3):995-1002

## 内容

---

### Introduction

・ 下肢からの体性感覚入力は、バランスを制御する上で重要な感覚情報源として長く認識されている。

・ 膝と足首周辺の筋スピンドルからの固有感覚情報は、体に対する関節角度の変化をコード化し、ゴルジ腱器官は体の負荷に関するカフィードバックを担うかもしれない。

・ 足底の皮膚受容器は接触圧に敏感であり、圧分布の潜在的変化に敏感である可能性がある。これらの体性感覚入力のすべての統合は、支持面に対する身体の位置に関する重要な情報を提供するようである。

・例えば、静止姿勢での足底皮膚の機械的刺激は、皮膚刺激と高く相関する姿勢の揺れを引き起こすことが示されている。突然の姿勢摂動に対する補償的ステップ反応は、足底支持情報の減少によっても影響を受ける。

・皮膚受容体は、体の支持基底面の境界に向かって移動するときの圧力中心の動きを検出するだけでなく、より安定した立位を促す姿勢反射をも働きかける。

・上記を示す研究は、起立したバランスの制御における皮膚情報の重要性を示しているが、足底からの皮膚入力に関する知識は、主に間接的な証拠に基づいている。

・足底の機械受容体の特徴に関する情報は限られている(2002年時点)。足底の皮膚メカノレセプターの活動の記録を研究の目的とする。

## 方 法

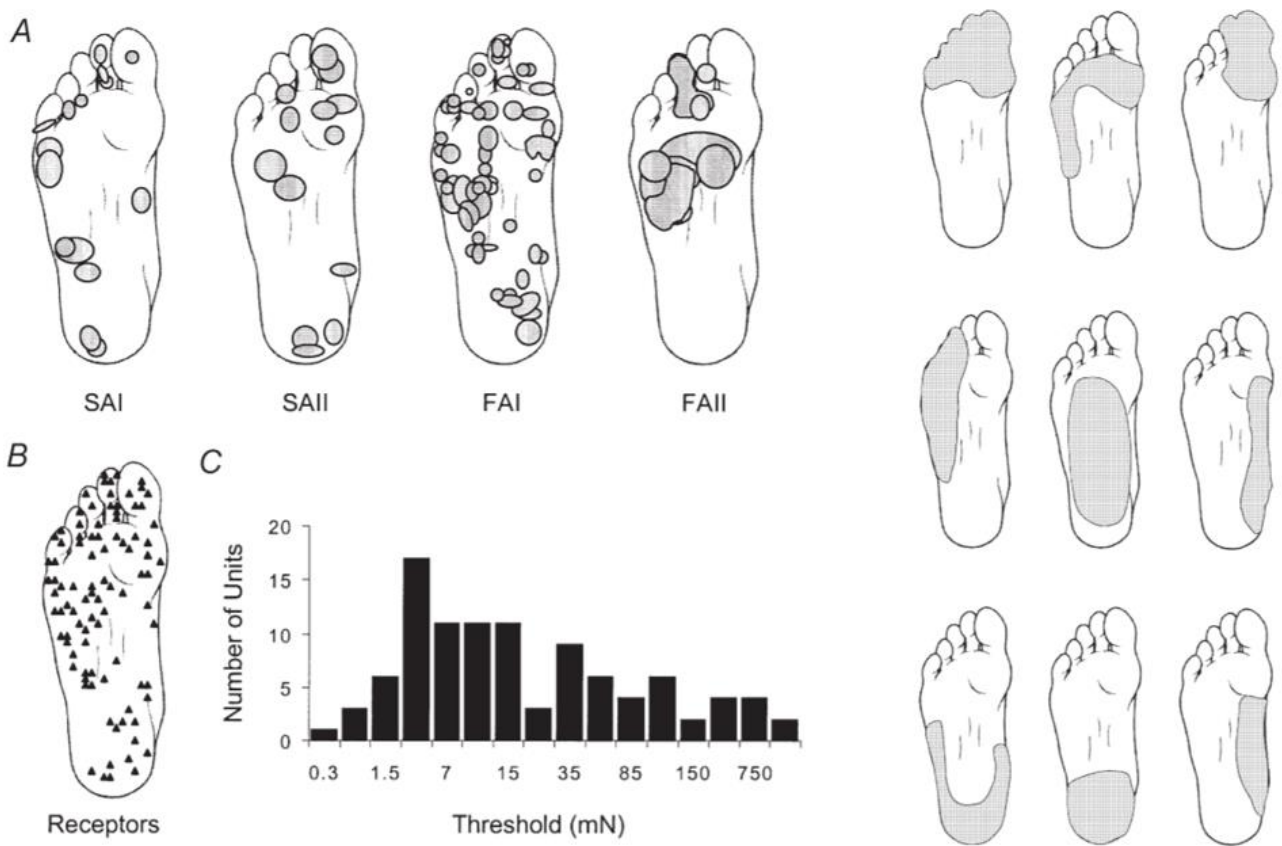
・被験者健康なボランティア 13 名（男性 7 名、女性 6 名）22～50 歳（平均 29.6 歳）で 31 回の記録セッションを行った。

・足底の皮膚機械的受容器の活動を記録するために、微小電極を上記被験者の膝窩と脛骨神経に挿入した。

・電極を手動で操作することにより、単一ユニットの記録を得ることができた。

・レセプターの位置および受容野の輪郭は、足底皮膚の表面に対して垂直に適用されたナイロンモノフィラメントを使用することによって決定された。

## 結果



(Kennedy PM et al : 2002) [PubMed](#) へ

・全部で 104 の皮膚の機械的受容器が足の皮膚で同定された。

・全体として、9つの領域が観察された。それに基づいて足底に輪郭を描かれた。(上図)

・記録された 126 の求心性神経細胞から、106 個の皮膚のメカノレセプターのうち 31 個の遅い順応型 (SA) ユニットと 75 個の早期順応型 (FA) ユニットに分類された。残りの 20 の求心性神経は、本レポートでは論じない。

・このサンプルは、15 の SAI 型 (14%)、16 の SAI 型 (15%)、59 の FAI 型 (57%)、および 14 の FAII 型 (14%) からなっていた。受容体が足の中に受容体を蓄積することなく広く分布していることを明らかにした。

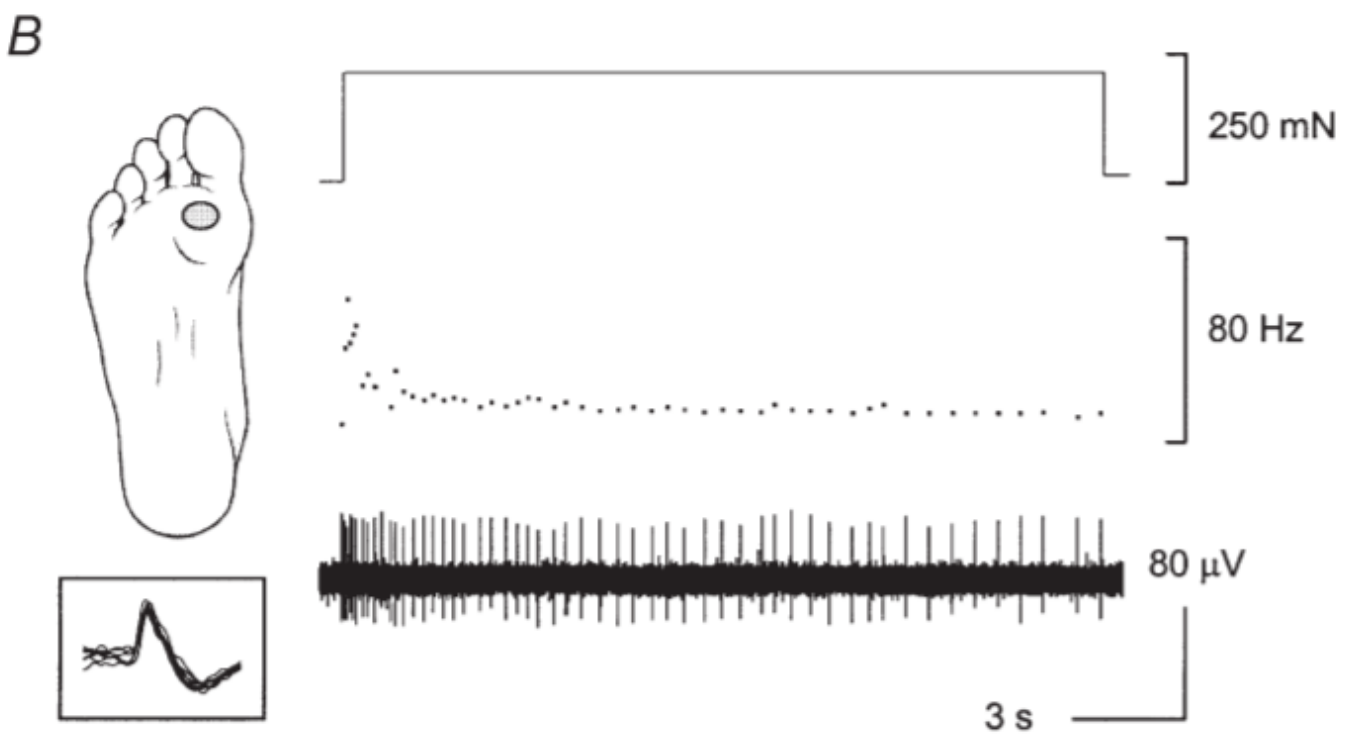
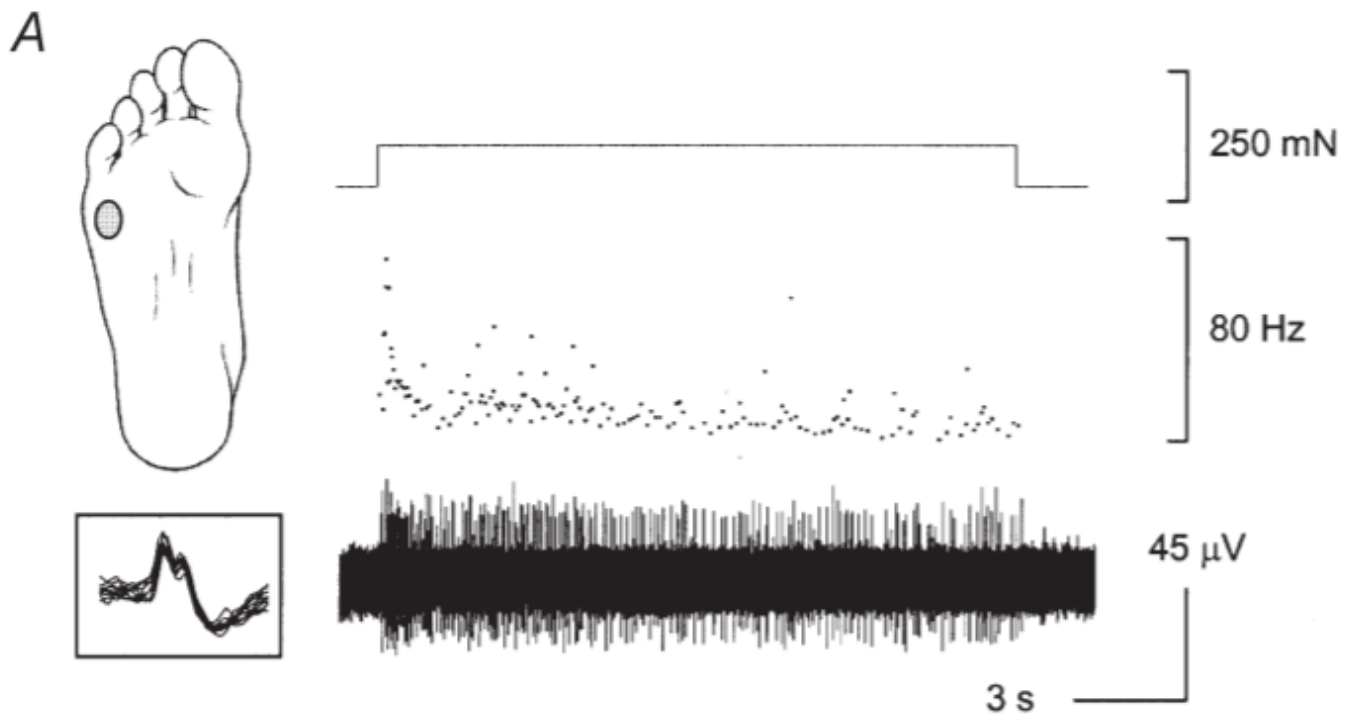
**Table 1. Profiles of cutaneous mechanoreceptors in the foot sole**

Type	Number	Per cent of total	Median threshold (mN)	Range (mN)	Receptive field size (mm <sup>2</sup> )	
					Median	Range
SAI	15	14.4	35.6	4-744	70.9	11.8-277.5
SAII	16	15.4	115.3	36-2800	127.4	44.0-296.2
FAI	59	56.7	11.8	0.7-282	38.0	5.8-333.6
FAII	14	13.5	4.0	0.5-2800	284.2	41.7-1248.0
Total	104	100	—	—	—	—

The total number of units for each subpopulation, the threshold levels as estimated with calibrated nylon monofilaments, and the receptive field properties were calculated.

(Kennedy PM et al : 2002) [👉 PubMed へ](#)

上表：各レセプターのプロフィール:単位の総数、ナイロンモノフィラメントで推定された閾値レベル、その中央値、および受容野のサイズ等が計算され示される。



(Kennedy PM et al : 2002) [PubMed](#) へ

・SA ユニットでは、タイプ I および II に SA レセプターを分類することに難渋した。SAI ユニットの受容野は SA II ユニットのそれと同様であった。

SAI は典型的には不規則な発火パターンを有し、SAII はより規則的な発火率を有した。(上図)

- ・ FAII は、最も低い中間閾値 5mN を有し、SAII は、最も高い中間閾値 115mN を有した。

- ・ FAI および SAI の中間閾値がそれぞれ 12mN および 36mN であったため、4 タイプにおける中間値を有していた。

- ・ 足底の皮膚受容体の活性化の閾値はかなり変動している。いくつかの FA ユニットの、0.5mN という低い刺激に応答したが、3000mN もの高刺激まで、いくつかの SA レセプターは活性化されなかった。

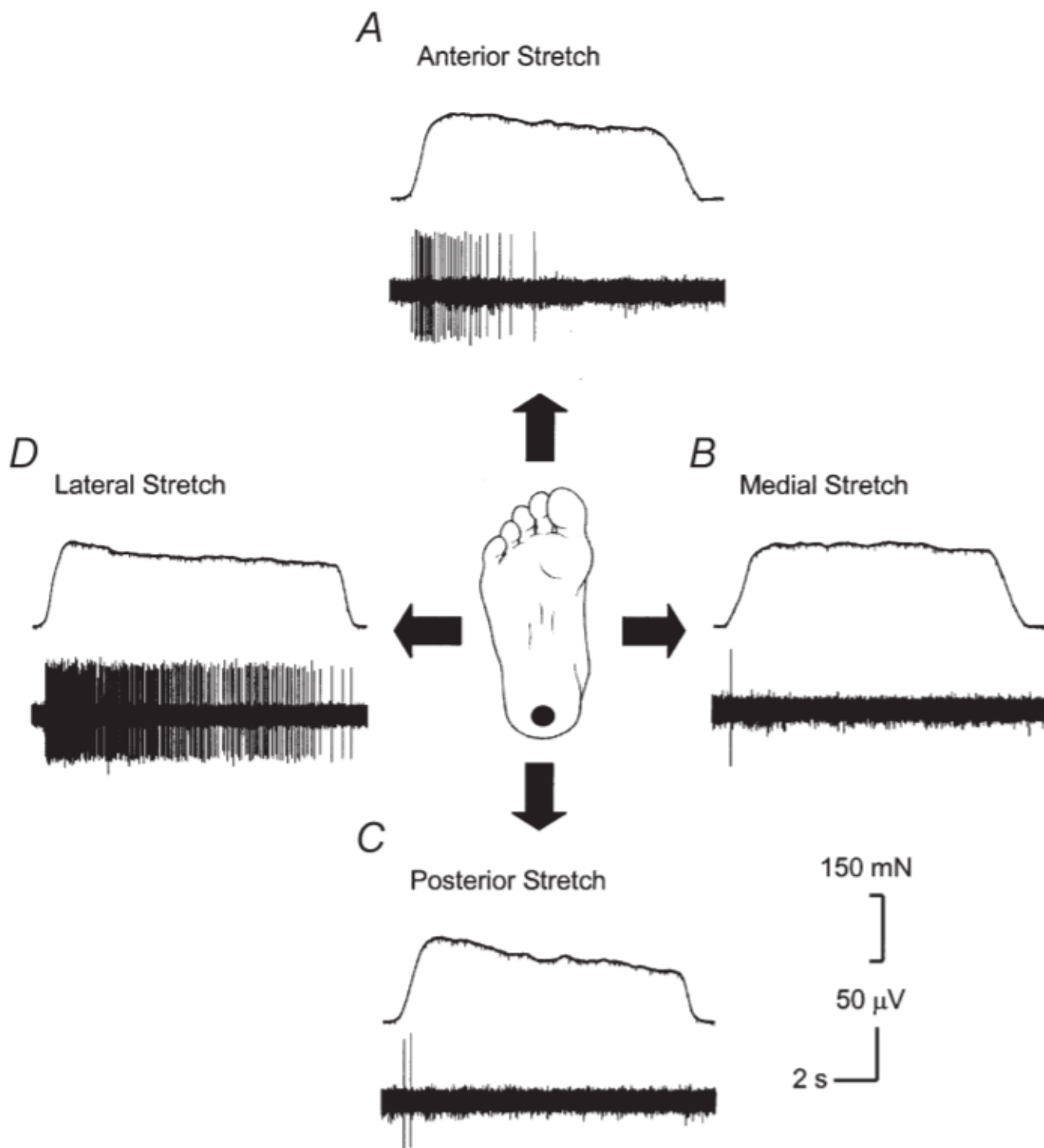
- ・ 足指 (25mN; 範囲 0.5-150mN)、足底外側 (80mN; 範囲 0.5-750mN) およびかかと (300mN; 範囲 0.7-3000mN) と皮膚受容体の平均閾値は異なった。

- ・ 足底の中間領域にて孤立されたより大きな受容野があった。

- ・ 足を無負荷状態にした場合、意図的に刺激を与えなかった場合、皮膚受容体のいずれにもバックグラウンド放電活性はなかった。

- ・ 足の閾値の上昇は皮膚厚の増加に起因していた。足底のユニットの受容野領域は、手に見られるユニットのフィールドの 3 倍であった。手とは異なり、受容野の位置は足の足底面全体にランダムに分布していた。

下図は、ヒールに位置する SAI ユニットのデータ例を示しています。



(Kennedy PM et al : 2002) [PubMed](#)  $\leftarrow$

・前部ストレッチ（A）、内側ストレッチ（B）、後部ストレッチ（C）および外側皮膚ストレッチ（D）に応答して、皮膚に適用されるストレッチのレベルおよび対応する放電の活性の程度を示す。

・皮膚のストレッチの方向が、前方から横方向へ時計回りに変化すると、対応する活動電位の数は、相対的な皮膚伸張量で増加する。

・16個の受容体が優先的な皮膚のひずみ軸を示したにもかかわらず、この軸の向きはすべてのSAII単位で同じではなかった。

・限られた記録時間のために各ユニットの方向の正確な評価を得ることは困難であった。

## まとめ

・自然な無荷重の状態ですべての足底にバックグラウンド活動がないという事実は、足底の皮膚受容体からの活動が足が支持面に接触していることを知らせるために重要であることを示唆している。

・足底全体にわたる受容体の広範な分散は、皮膚レセプターが接触圧、地面との足の位置をコード化できることを確実にする。



・前腕の有毛の皮膚の皮膚受容体と無毛の皮膚の受容体との間に明確な違いが存在することが示されている。下肢にも同様の差異が存在する可能性が高い。

・これは、2つの皮膚タイプ間の解剖学的変形に起因し得る。無毛の皮膚は、皮下組織への密接な接続を有する。その結果、関節運動に応答して有毛の皮膚がより伸張される。

・このため、有毛の皮膚の受容体は、関節の動きおよび位置に関する情報を提供する上でより大きな役割を果たすと考えられている。ふくらはぎの有毛の皮膚の機械的受容性の求心性神経は、足部の無毛の皮膚の求心性神経が足の接触をシグナル伝達するためにより重要である一方、足の向きに関する情報を伝達するためにより適しているかもしれない。

・もし優先的な分布が存在するとすれば、足の前側面、側方の境界およびかかとにおける受容体等、負荷状態において体重の大部分を占める足の重要領域に対応する。

・記録セッションについて、SA受容体の数は、すべての対象にわたって記録されたFAの受容体の数を決して上回ることはなかった。したがって、我々は、この研究で記録されたFA対SA受容体の相対的割合は、足底における受容体の全体的分布を反映しており、バランス制御において高い動的感受性の必要性を反映していると考えている。

## 私見・明日への臨床アイデア

---

・図の receptor を観察すると、内側縦アーチ部のメカノレセプターは比較的観察されない。足底の感覚刺激としては、分布を考慮して練習した方が良いのではないかと考える。さらに、FA と SA とタイプの違うレセプターがあり、受容体の数も違い、単一な刺激でなく、様々な刺激が活性として有用と考える。

氏名 Syuichi Kakusyo

職種 理学療法士

---