

## 要約

既成品ICEROSS (Icelandic Roll on Silicone Socket) はアイスランドにおいて1986年初頭より用いられている。〔図①〕それに先立つこと数年、カスタムメイドのシリコンソケットの利用が始まり、その関連論文が1984年のAOPA (アメリカ義肢装具協会) 会議において本論文執筆者により発表された。ICEROSSシステムは主に懸垂のために用いられている。同時に、ICEROSSが義足の荷重性能を大幅に向上し、義足と装着者との接触面を顕著に改善することを筆者は確信している。ICEROSSを裏返し内側を露出した後、断端に巻き込むように装着する。この時、シリコンライナーは皮膚を遠位方向に引き延ばして軟部組織を安定化し、ピストン運動を最小化する。義肢装具士と装着者ともに装着初期にいくつかの問題を経験す

ることもあるが、大半は注意深いソケットデザインと皮膚の手入れにより克服できる。



図① 最近の下腿用Iceross製品群。使用者層の高齢化や、目的の多様化により製品種類が増えている。基本的な考え方は本稿論文の通り。

## 序論

義肢適合の品質については概念的に異なる二つの見方がある。第一は入手できるコンポーネントや材料の品質、つまり、道具やデータベース、組み上げるための熟練した技術、これらを一つの機能的ユニットとしてみた場合の品質である。第二は、最新のソケット適合方法や、適合に関わる義肢装具士の技能からみた品質である。義足の継手を持つ固有の限界を別とすれば、義肢の最重要部分のひとつはソケットであり、多くの場合ソケットは装着者のパフォーマンスの程度を決定する。多くの場合、下腿切断の適合はあまり重要な問題とはみなされていない。大腿切断の適合と比較すればそうではないのかもしれない。それにもかかわらず、我々の下腿義足ソケット適合についての判断基準は、以前の経験から得られた知識や装着者の主観的評価などと大変少ないため、私達は従来以上に良い仕事をしているといった誤った方向にたびたび導かれる。すなわち、私達は得た結果をなし得る最良のものと認めてしまいがちなのである。後に現れる問題は、浮腫、萎縮、軟部組織の再分配、体重の変化などの制御不能な要因にのみ起因しているのであろうか。もちろん、これは決して道徳的にもとるとか不自然なことではない。適合の基準について知らされていないか、基準自体が確立されていないのであれば、その適合の良い悪いに関わらず、基準に合致していないことをだれも責められない。あたかも馬車職人が空気入りタイヤを想像もせず、原始的な煉鉄で覆われた木製車輪を組み立てているかのように、現代の義肢装具士は今現在手に入る最新技術に依らなければならない。これは我々が馬車職人と同じ苦境におかれているというのではない。第一

に我々は多量の新素材をもっている。我々は総合的データベース情報を引き出すこともできる。そして多分、我々の意図するものも明白である。我々に最も不足していると思われるのは、全ての義肢装具士の手と心にフィットし、場所や技巧を問わず同等の結果を生み出すような道具である。CAD-CAMはその答えのようにも思われるが、ソケットと四肢(より正確にはソケットと骨格)との間の複雑な総合作用を理解するために更なる研究が進められなければならない。いずれにせよ、筆者は現況のCADを工具箱として受け入れることはできない。理由は単純である。全てのCADシステムはPTBの概念を継承しているように思えるし、ギブスもしくは"floating limb" (垂れ下がった下肢)の局所解剖学から入手された情報に依存しているからである。CAD-CAMの有用性についての報告がなされていたり実際に製作を容易にするとしても、CADが私の望む何ものかを提供するとは考えられない。このことは多分、システムの進化により近い将来変化するではあろう。

長い間、懸垂は下腿義足の総合的有効性と快適性を決定する重要な要素であると認識されてきた。懸垂についての課題解決を目的とした研究や開発は残念なことにより成果をあげていない。大腿コルセットに加えてPTBカフベルトや同様の革帯方式、顆上パッドのいくつかのバリエーション、ネオプレーン製スリーブ、ゴム製スリーブなどが用いられている。全てこれらの異なる方式は義足が下肢から落下するのを防ぎ、ある程度ピストン運動を抑える。とりわけスリーブにおいてはその効果が高い。しかしながら、どれひとつとして非

常に効果的なものとは考えられない。下腿用サクシオンソケットは上述の方式とは異なる懸垂への取り組み方法である。下腿用サクシオンソケットに付帯する問題解決のためにいくつかの試みがなされたが、しなやかで順応性のある半軟質ソケットとの組み合わせが最も有望である。空気密閉を喪失しないとしても、(非常にゆったりとした多量の軟部組織を有する下肢を例外として)、ソケットは非常にきつく製作されなくてはならないので、下肢を絞めつける傾向にあり、下腿用吸着ソケットはあまり広く使用されていない。適合が困難であることや、下肢の周期的もしくは恒久的変化にデリケートであることも広く使用されない理由である。下腿用吸着ソケ

ットは、それが解決すること以上に多くの問題を生み出す傾向にある。

懸垂があまりに乏しい結果、概して下腿義足装着者は本来のパフォーマンスを犠牲にしていると言われている。一步一步おこる義足と断端相互間の加速の結果である全てのピストン運動と、荷重期に生じる衝撃は皮膚、関節、骨格に大きなストレスをかける。衝撃緩衝のため、下腿義足ソケットには衝撃を和らげる柔らかな素材を内張りする。もちろんこれは有効である。しかし、そのクッション素材の品質に関わらず、適合が最良でなく限られた部位だけが荷重を受けるのであれば、ソケットは不快なものとなる。

## ソケット形状とボリューム

膝蓋靭帯や内側フレア、脛骨顆などの下肢の限られた部位に予め荷重を伝達するよう設計された下腿義足ソケットは、ほとんどの場合、効果も無く不快であると筆者は確信している。最も効果的なソケットは荷重の伝達において流体静力学 (hydrostatic) 原則に依っているものであると筆者は考えている。流体静力学原則は"最良の"適合と言われる大腿義足の多くが用いている。流体静力学的適合のゴールのみがこのような"最良の"適合獲得を実現できることを理解すべきである。断端は複雑な機械的性質をもつが、単純化のために、硬度の低い組織が、顆を伴う脛骨というピストンを取り囲んでいる弾力性のある固体であるとみなされる。この塊が収納する器の容積に正確に対応しぴったりと合っていれば、荷重時に流体静力学系のように作用する適合が期待できる。動作が無ければ剪断応力が無いので、全ての点におけるソケット内の圧力状態は、加わる圧力によってのみ決定される。故に、任意の点での圧力は全ての方向で同じであり、体重を支えるために必要な圧力はソケット開口部の横断面により決定される。流体静力学系はそれがきつくぴったりとしている間安定する。漏れが始まればすぐに、流体静力学系はその機械的硬度を失う。有効に閉鎖された流体静力学系と言えない場合であっても、おそらく断端⇄ソケットの接触面 (相互作用) は、荷重時には流体静力学特性をあわせもつ弾性体と認められる。後壁が十分に高く、軟部組織がその密度により器から漏れ、顆よりも上に出ることがなければ、この体系は限られた部位への荷重や、基礎を成す骨格との一致すら無くても、荷重下において発生する力を伝達することができる。機械的安定

と、このような環境に収納され働く下肢内部の力学との間には疑問があり、その疑問については解答すべきである。この分野についてのさらなる研究が必要である。もちろんソケットと下肢間の力の伝達は、限られた部位での荷重と流体静力学荷重との間の妥協にちがいない。その上に、活動的切断者の断端は、朝と夕方では容積が異なったり、同じ年の6月と12月とでも異なったりする傾向にある。故に、ソケットの適合は、時期が異なれば適合も異なり、ほど良く適合しているソケットであっても、流体静力学安定は規則的周期で失われ得る。荷重がかかっている間、申し分無く一



図② 下腿切断端。軟部組織を何らかの方法で安定化しないと、必要な支持が獲得できず、良好なソケットの適合が期待できない。

致しているソケットによって適合時の軟部組織が理想的容積で確実に安定化されていることが良好な初期適合のためになされるべきことであり、懸垂時においても、義足が最小の長軸方向の移動で下肢に確実に固定されていることがあわせてその条件となる。〔図②〕ICEROSSの開発が始められた時、これらの課題双方を解決できる方法は一つ知られていなかったのである。

## ICEROSS

ICEROSS (Icelandic Roll On Silicone Socket : アイスランドの巻きながら履くシリコン製ソケット) は一方の端が閉じられた筒と、閉じられた端の遠位固定具が一体化したアタッチメントにより構成されている。ICEROSSは驚くほど伸長し、かつ避けへの耐久性にも優れた非常にソフトで伸縮性のあるシリコン素材から製造されている。しかしながら、シリコンという素材にはいくつかの制約がある。不注意に扱うと側壁の裂けが起これ、ライナーの破損につながる。故に、義肢装具士が常に注意するとともに、装着者に適切な手入れと取扱を指導しなければならない。ライナー厚みは遠位端付近で平均4~5mm、おおよそ100mm上方で2mm程度まで薄く成形されている。ライナーを裏返しにすると、比較的厚めの遠位部内壁がひき伸ばされ、遠位部の外壁も同様に圧縮されている。装着する時には、露出したICEROSSの底部を断端末に押しつけ、ライナーが膝を覆うまで全て巻き上げていく。〔図③〕

ライナーの裏返し過程で引き伸ばされることにより、予め内壁に発生していた張力はロール・オン装着により放出され

る。つまり、ライナーの内表面が収縮し皮膚を下方に移動させる。そのような移動は装着者自身が確認できる。ロール・オン装着過程で実際に皮膚が引き下げられていくのを感じたり、目にする事ができる。ICEROSSが断端に正しくロール・オンされると、軟部組織は安定化される。放射状の圧力と遠位方向への皮膚移動の組合せにより、断端は自由に垂れ下がった断端とは全く異なるものとなる。縫合部の皮膚の縦方向への移動の可能性は大幅に減少する。ICEROSSで覆われた断端を手で掴み、ピストン運動を模倣するように軟部組織を遠位、近位に動かしてみれば、このシンプルな装置が人体と義肢の接触面を非常に素晴らしく向上することは明かである。ICEROSSには薄いナイロン生地製ストッキングを装着し、硬い注型や真空成型のソケットに挿入する。断端容積が減少すれば、より厚手のソックスを重ねて装着することができる。断端容積が増大した場合は、通常新しいソケットが必要となる。このように薄く容易に伸長するため、ICEROSSは膝関節上方の皮膚の動きに追従し、皮膚への付着を犠牲にすることなく凹みにも対応し変形する。そのシリコンは第



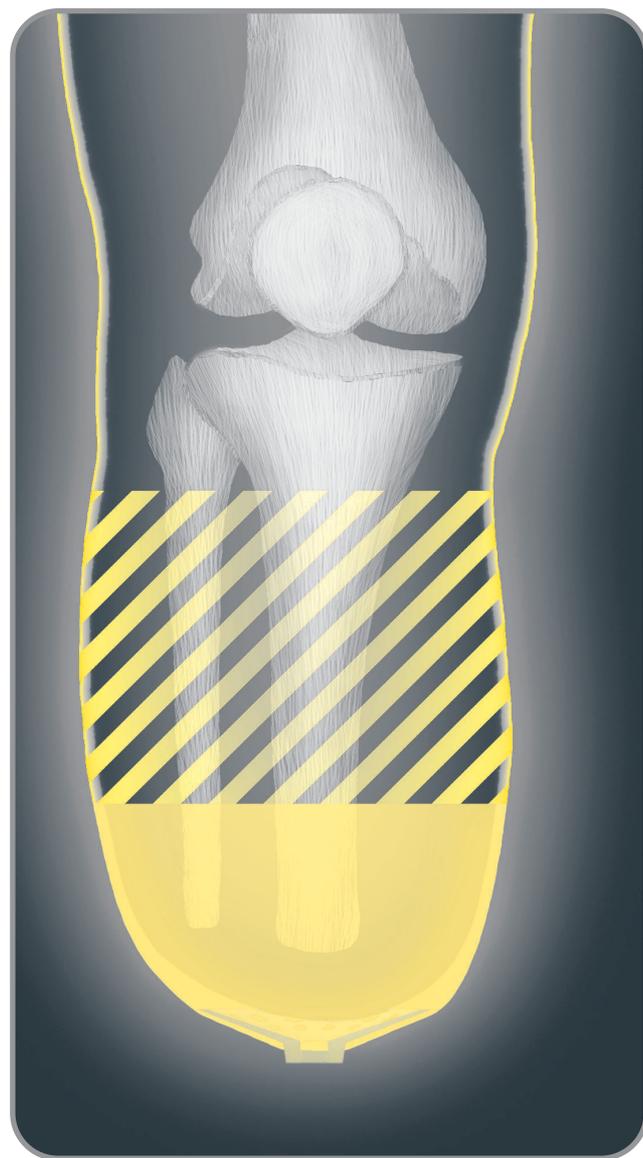
図③ Icerossのロール・オン装着。裏返してしっかりと指先で引き伸ばしたライナーを断端と密着させて装着していく。

二の皮膚と呼ばれてもおおよそ差し支えない。摩擦はICEROSSと外ソケットとの接触面に転嫁されるため、皮膚とICEROSSの接触面は摩擦にさらされることが無い。結果、皮膚への応力が相当に減少する。ICEROSSの重要な特徴のひとつは、厚めの遠位部に組み込まれているマトリクス補強である。〔図④〕

ICEROSSのこの部分は放射状に伸びるが、長軸（縦方向）にはごく僅かにしか伸びない。遠位から膝にかけての縦方向への伸びの制限は、効果的な懸垂に大きく貢献する。マトリクス補強は懸垂時の剪断力を中和するように配置されている。少なくとも断端末部から補強の及ぶ範囲まで断端には放射状の圧迫がかかっており、相対的に伸びないシリコン内壁に対して皮膚を固定することができるので、実際にこのような剪断力の中和が期待できる。遠位部補強はさらにICEROSSの伸びを抑え、陰圧を生み出し問題の原因となる断端末とライナー間の隙間発生を防ぐ。シリコンの衝撃緩和特性は多孔性や多泡性の発泡素材とは全く異なる。発泡素材のセル（小室、小孔）は連続（オープンセル）または独立（クローズセル）しており、それぞれ気体で満たされている。オープンセルでは、気体は素材が圧縮されると逃げ出し、小孔は潰れて発泡素材の容積が減少する。

クローズセルでは、セルに包まれたガスが圧縮される。圧縮過程を通し、圧縮力は反動分力であるところの弾性分力に対抗して作用する。反動分力の大きさによるが、発泡素材は衝撃が加わった時に多少はあるが“激しい反動”を伴い跳ね返る。このような“激しい反動”はゴムのような発泡素材では大きく、ポリエチレンのような発泡素材では小さい。一方、シリコンは密で堅く、圧迫されたとしても極僅かである。このような素材であるにもかかわらず、シリコンは圧力の高い箇所から低い箇所へと流れ圧力を再分配する。シリコンはいわばエネルギーの吸収に用いられる。ほとんど反動分力を何ら生じないため、シリコンは優れた衝撃吸収装置となる。下腿切断者用流体静力学的適合もしくは全表面荷重の理論立て当初、我々は理想的適合が得られれば衝撃緩和の必要が無いと理解していた。しかしながら、適合時に理想的な一致が下肢とソケット間で達成されたとしても、その状態が長続きしないことも私達は同時に理解した。成熟した断端は円錐形である。断端容積の僅かな変化が不一致の原因となり、断端がソケットに様々な深さで入り、傾斜しているソケット表面へのアタック角度が変化する。断端がソケット内の意図した位

置に正確にのっていなければ、骨隆起部にトラブルが発生せざるを得ない。このような状況を修正するために、腓骨と脛骨に免荷材を組み込んでおく。衝撃緩和にはシリコンの壁（近位2mm厚）のみが働く。当初3mmのPEライトライナーを併せて用いたが、不必要であるとの理解とその高い摩擦を考慮してすぐに取り止めた。

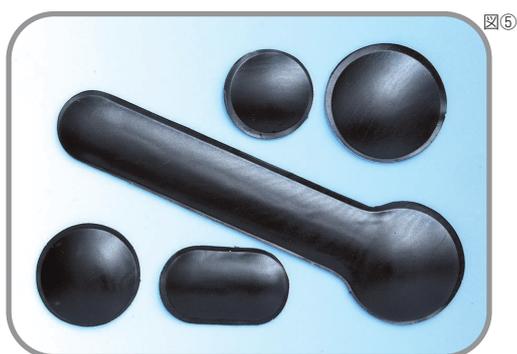


図④ Ossurが特許を取得している、Icerossのマトリクス補強の模式図。特殊な繊維を、プラスチック製断端末アタッチメントと組み合わせ、断端軟部組織の縦方向への移動を抑制する。

## 採型とモデル修正

全表面荷重式ソケットの採型では、ICEROSSを予め装着しその後ギプスを巻くことを推奨する。脛骨と腓骨頭への盛修正は、ICEROSSの下の皮膚上に適切な厚みのシリコン製パッドを直接配置することができる。パッドを使用する場合は、ロール・オンするICEROSSが免荷部分に接近してから腓骨パッドを配置する。〔図⑤⑥〕採型は下肢を完全伸展させ安静状態で行なう。シリコンにはクリアラップを巻いておく。15cm幅の非弾性ギプスを用いる。ギプスは軽く搾っておく。部分的な圧はどの部位にも一切加えない。指先から手掌を使いギプスを前方から後方に滑らかに撫でつけていく。パテラ下方や膝蓋靭帯に意図的に圧力を加えることはない。ギプスを後方に撫でつけて行くと余分なギプスが後方に集められ襞を造る。〔図⑦⑧〕ML寸法は外径測定器で採寸しておく。硬化後ギプスをパテラの近位でカットし断端から

引きはせず。細身の断端などで予めギプスを大きくカットする必要が想定される場合は、ライナーを傷つけないよう、パテラから脛骨に沿ってビニールチューブを当てておく。ML採寸をしておくことで、陽性モデル修正時に適切に修正を施すことができる。陽性モデルは後方の襞の部分を修正した後後は、周径調整によるボリュームの修正のみを行なう。



図⑤



図⑥

図⑤⑥ シリコン製分圧パッド。脛骨骨端や腓骨頭など、従来のソケット製法であれば盛り修正をしたような箇所に配置する。図⑥は実際にソケット内に配置した図。全面荷重環境と筋動作により断端形状への変化への追従を両立する。



図⑦

図⑦⑧ Ossurが推奨する、手技によるIcerossソケットの採型方法。図⑧は硬化後のギプス。採型時に後方にギプスを集めていくことにより、後方にギプスの襞ができていくのがわかる。



図⑧



図⑨ 加圧採型器具Icecastコンパクトを用いた採型方法。文中の手技だけでなく、より流体静力学的ソケット製作に近づくため、簡易な採型器具が近年では多く用いられている。

## チェックソケット

チェックソケットを用いた適合確認過程は不可欠なものである。チェックソケット材料は透明な熱可塑性素材で、適合確認過程で形状を喪失しないよう十分な硬度を持つもので無ければならない。当初きつすぎるソケットでは問題を特定することが時に困難であり、適合チェックの目的には有害である。

どちらかと言えば、当初は緩る過ぎるソケットから始めるほうが好ましい。緩い場合は、陽性モデルに戻り、削り修正の後、チェックソケットを部分的に加熱し弾性包帯を用いて部分的に縮めれば良い。ソケットは踏み込んで適合するよう作られているが、採型時の断端への伸長力が不十分であると、

ソケットは短かく太過ぎるものになり得る。このような不十分な伸長の結果はピストン運動として現れる。多くの場合チェックソケット段階では、ピン式ロックよりも引ヒモ式ロックを用いることが好ましい。〔図⑩〕一方、ヒモ式は断端と義足間の動きを全ての取り除くと言う点からは不十分である。予めICEROSSを装着し皮膚を遠位に移動した上に、そのICEROSSを装着した断端を遠位に引き伸ばすことで断端はソケットの底に着く。このようにぴったりと合ったソケットでさえ、断続的に双方向への負荷をかければ、ある程度のピストン運動を示す。引ヒモをチェックソケットにロックし、遠位方向に負荷をかけると、ソケットとICEROSSを装着した断端の間に隙間を観察し得る。通常、シリコンライナーの上にナイロン製断端袋を装着する。ソケットの間に極限られたピストン運動を許容し、シリコンと皮膚との接触面の摩擦を軽減しストレスを減ずるためである。さらに、より劇的な不一致が膝を屈曲すると明かになる。屈曲時に断端とソ

ケット間の相対的な動きを許容しないと確実にトラブルが発生する。



図⑩  
引きヒモ式のロックを用いたソケット。(図は樹脂注型をした本ソケット)ピンを用いたロックアダプタと比較し固定力には欠けるが、装着時の軟部組織への負担が少ないため、組織が多量で荷重耐性の未完成な成熟していない断端などへの使用に向く。

## 禁忌

高齢者（や切断以外の機能不全のある者）へのICEROSSの使用は、適切な手入れと取扱いが確実にされる場合にのみ推奨できる。よって、本人、介助者の如何にかかわらずロール・オン装着や適切な衛生的手入れができなければ、ICEROSSを処方すべきでは無い。傷口が開いている場合や皮膚の壊死についてであるが、シリコンライナーは術後の傷が治癒する以前は用いない。しかしながら、ICEROSSは

弾性包帯にかわる断端シュリンカーとして術直後から処方できる。現在術後のICEROSSの適応についての研究がなされているが、現時点（1993年当時）では利点を実証されていない。過度の部分的圧力により皮膚にダメージを負っている場合がある。治癒はその部位を免荷することで期待できるので、通常義足装着の休止や外気にあてる必要は無い。

## ライナー使用后、新たに発生する問題

高齢者は、装着初期、特にパテラに水疱を作ることがある。皮膚が脆弱であることを除いて、ICEROSSの小さ過ぎるサイズ選択が問題の可能性の一つとしてあげられる。パテラ付近のソケットのトリミングを深くし免荷をしたり、パテラ周

辺に保護のため、弾性包帯を巻いたりすることで水疱は治療され得る。治癒後、慎重な再装着試験により水疱形成が止んだことが確認できれば、通常の休息や外気に当てることをしながらICEROSSを使用することができる。

## 結論

ICEROSSシステムは主に懸垂のために用いられている。ICEROSSが同時に相当程度義足の荷重能力を向上し、義足と装着者間の接触面をより改善することも明らかである。

ICEROSSには全表面荷重式または流体静力学式ソケットが推奨される。ソケットが適切に適合すれば、別に軟性内張りを加える必要はない。