

맞춤형 라이너를 이용한 하퇴의지 제작과 올바른 적용

(주) 오토복코리아 헬스케어

송 창 호

서 론

지난 수년 간 실리콘 라이너의 국내 도입으로 많은 하퇴 절단 환자들이 기존의 필라이트(PE Lite, Soft inner socket)에서 실리콘 라이너에 서틀락으로 현가장치(shuttle lock suspension)를 하는 방식으로 상당히 많은 부분 바뀌었다. 하지만 여전히 의지 착용자들의 불편함과 불만은 계속 되어 지고 있다.

불편함을 만드는 소켓과 절단단 사이에서 일어나는 힘(force)은 충격력(impact), 회전력(Rotational), 전단력(Shear), 반복력(Repetitive), 합력(Resultant)이 있다(Fig. 1).



Fig. 1. This figure shows five different forces occur in the socket. Impact, Rotational, Shear, Repetitive and Resultant force.

예나 지금이나 하퇴 의지 제작의 발전은 앞서 말한 5가지 힘의 요소를 없앨 수는 없지만 줄여나가는 데 목적을 가지고 있다.¹ 실질적으로 환자들로부터 가장 많이 호소되는 문제는 소켓 내벽과 절단단 사이에서 일어나는 피스톤 움직임이다.

현가장치의 차이에 따라 움직임의 정도를 큰 순서로 말한다면, 무릎 상과를 감싸 쥐는 Kondylen-Bettung Münster (KBM) 또는 Patellar Tendon Supra condyle Socket (PTS), 서틀락과 같은 핀(Pin)타입, 무릎 슬리브(Knee sleeve)를 씌워 음압을 이용하는 일 방향 밸브(One-way Valve)타입이 있고, 현존하는 최상의 현가장치는 지속적으로 음압을 관리 할 수 있는 Vacuum Assist Suspension System (VASS)이다.

최근 맞춤형 실리콘 라이너와 슬리브, 일 방향 밸브(One-way Valve)를 환부의 피부가 약하거나, 환부의 길이가 짧은 경우 또는 환부 끝에 뼈가 돌출되어 작은 충격에도 민감하게 반응하는 환부 등의 환자에게 적용하여 성공한 사례를 볼 수 있다.

이에 글을 쓰며 의지보조기기사의 전문가적인 활동을 기대하며 라이너의 재질과 그에 따른 소켓 타입에 대해 좀 더 알고 하퇴 의지 제작을 하며, 더하여 맞춤형 실리콘 라이너가 필요한 환자를 분별하여 올바른 제작방법과 알맞은 적용을 기대한다.

하퇴 의지의 구성(Consist of Transtibial prosthesis)

무릎 아래의 절단이 된 환자가 착용하는 하퇴 의지의 기본적인 구성은 아래와 같다. 건축물과 같이 아래에서부터 본다면 기초적인 베이스가 되는 발(Foot), 환부 잔여지와 키에 따른 길이를 보상하는 튜브 어댑터(Tube adapter), 환부와 의지를 연결하는 소켓(Socket), 소켓과 환부 사이의 인터페이스 역할을 하는 라이너(Liner), 라이너와 소켓을 연결하는 현가장치(Suspension)으로 크게 분류할 수 있다. 이 중에서 소켓, 라이너, 현가장치 등을 통틀어 소켓 테크놀러지(Socket Technology)라고 부를 수 있다. 단지 소켓 디자인의 문제만은 아니고, 함께 접목되는 현가장치와 라이너 재질 특성과의 상관 관계 속에서 착용의 편안함을 우선적으로 느낄 수 있다는 것이다. 그렇기에 어느 부분 하나 중요하지 않은 것은 없겠지만 정확한 의지제작을 하기 위해서는 환자와 첫 대면 상담 단계에서부터 착용단계까지 어떤 활동등급(Mobility System, MOBIS[®])에 해당되는 환자인지, 어떤 소켓 스타일을 적용하고, 어떤 라이너 재질을 선택할 것인가를 반드시 고려해야만 한다.

예를 들어, 아무리 성능이 좋은 엔진과 멋진 외관, 편안한 타이어를 갖고 있는 자동차라고 해도 운전자의 몸이 직접 닿는 의자가 불편하다면, 의미가 없다는 것을 비유한다면 소켓 테크놀러지의 중요성을 더 중요하게 생각하게 될 것이라 생각한다.

하퇴의지 소켓의 형태(Trans-tibia socket style)

1. PTB (Patellar Tendon Bearing socket)

하퇴 환부의 골격 구조를 이용하여 뼈 돌출부위는 석고수정 작업 시 덧대어 주어 삼각형 모양의 세 면에 체중 분산을 시키며, 더하여 슬개골의 아랫 부위를 누르고, 반대압으로는 오금부를 눌러 체중을 받쳐주는 형태이다. 이 형태의 경우 혈액 순환의 장애를 일으키며 체중 분산이 되어야 하는 면에서의 마찰력(Share force)으로 인해 특히 당뇨병 환자들에게는 적합하지 않다. 이차적으로 슬개골 건(Patellar Tendon)에 장기간 압박이 가해져 멸절된 부위에 손상을 주게 되는 구조이다. 이러한 문제로 인하여 미국, 유럽 시장에서는 1980대부터 점차적으로 사라지고 있는 추세이다.

참고로 대퇴의지 소켓에서는 사각형소켓(QLS)와 마찬가지로 특정부위에 체중 분산을 하는 형태라고 할 수 있다.

2. KBM (Kondylen-Bettung Münster)

독일의 뮌스터 대학에서 개발된 하퇴의지 소켓 스타일이다. 이 소켓의 특징으로서는 양측 대퇴골과부(Supracondyle)의 내외측을 완전히 소켓으로 뒤덮음 으로서 이 부분에서 소켓의 현가장치(suspension) 역할을 하며 짧은 환부에게 측방안정성이 증가하여 적합하고, 손의 사용이 불완전하여 라이너를 신고 벗기가 불편한 환자에게도 적합하다. 슬개골 부위를 잘라냄으로써 앉을 때에 소켓의 상단돌출이 눈에 띄지 않아 미용상 좋다는 것도 장점이 될 수 있다. 하지만 현가장치(suspension)측면에서 볼 때에 여전히 피스톤(Piston)현상이 큰 스타일의 소켓이므로 활동등급(MOBIS[®])이 높은 환자에게는 적용하기 적합하지 않다.

참고로 전박의지(Forearm prosthesis) 소켓에서는 뮌스터 소켓(Münster Socket)과 마찬가지로 환부의 뼈 구조를 이용하여 의지제품을 현수하는 형태라고 할 수 있다(Fig. 2).

3. TSB (Total Surface Bearing)

말 그대로 전면 접촉식 소켓이다. 위의 두 개의 소켓 스타일과는 취형 방법과 적용 개념부터 다른 방식이다. 환부의 형태는 그대로 유지하며 환부 상태에 따라 설정된 동일한 비율(reduction ratio 4~6%)로² 부피를 줄여 전면 접촉을 함으로써 체중 분산을 시킨다(Fig. 2). 여기서 고려되어야 할 부분은 하퇴에는 내부 뼈 구조물로 인해 충격이 쉽게

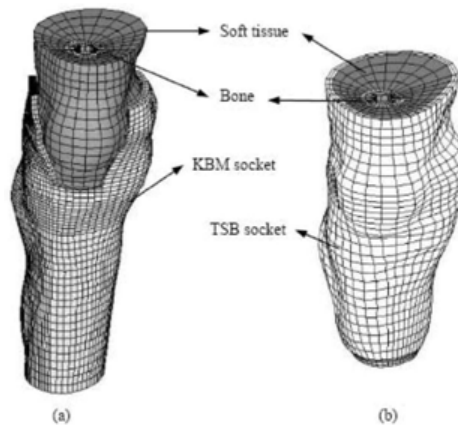


Fig. 2. This figure shows pressure distribution chart between a) KBM socket and b) TSB socket.

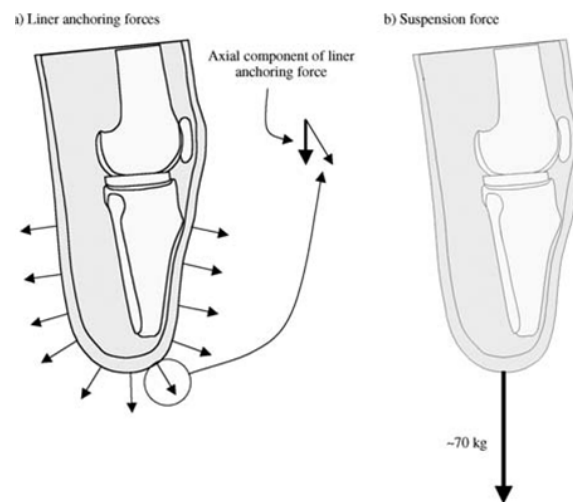


Fig. 3. The vacuum creates forces that: a) anchor the liner to the socket. The sum of all the axial components of the axial forces creates a large: b) suspension force of ~70 kg. The suspension force prevents the liner/limb from extracting out of the socket.

전해질 수 있어, 소켓과 현가장치 그리고 인터페이스 역할을 하는 라이너 재질의 선택이 중요하다. 라이너는 충격흡수와 점탄성(Visco-elasticity)이 좋은 폴리우레탄(Poly-Urethane)재질을 우선 시하며, 현가장치는 슬리브(Knee Sleeve)와 일 방향 밸브(One-way valve)나 VASS시스템을 최적의 적용(Winning combination)으로 한다. 위의 시스템을 가장 잘 적용하며, 적합한 장치를 흔히 하모니시스템(Harmony[®] system)이라고 부른다. 이 서스펜션의 힘인 음압으로 라이너와 소켓이 완전한 접촉이 되어 소켓 밖으로부터 오는 힘으로부터 예방된다(Fig. 3).³ 적용 대상 환자의 범위는 넓지만 특별히 말초혈관질환(Peripheral Vascular Disease, PVD), 당뇨병(Diabetes Mellitus), 암(Cancer)으로 인한 절단 환부에 적용하기 적합하며 부피변화 및 소켓 내부 환경 컨트롤이 필요한 환자에게 적합하다. 하지만 임시의지로 사용할 때나 부피변화가 극심한 투석(Dialysis)환자나 아주 약한 접촉에도 민감한 피부의 환자에게는 적용이 되질 않는다.

참고로 대퇴의지 소켓에서는 좌골 수납식(Ischial Containment Socket, ICS)이나 Marlo-Ortiz Anatomical Socket (M.A.S[®])과 마찬가지로 전체 부피를 줄여 골고루 체중 분산을 하는 형태라고 할 수 있다.

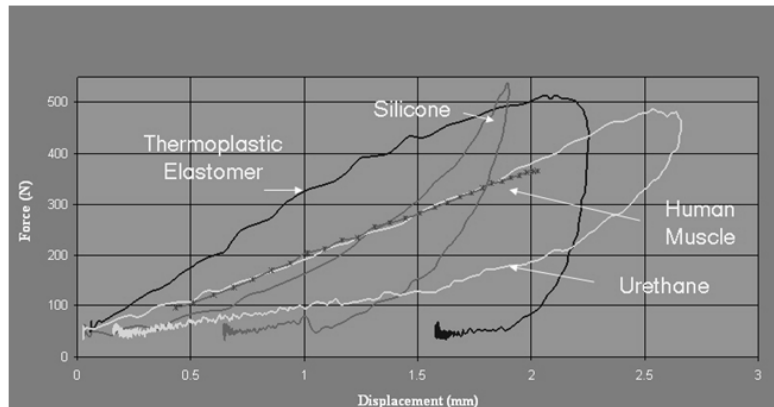


Fig. 4. This figure shows materials type with human muscle- comparative overlay, 1 Hz.

라이너 재질의 다양성과 적용 환부(Liner materials and their Indication)

지난 2000년 의지보조기 저널(Journal of Prosthetics and Orthotics)4에 발표된 바 있는 라이너 재질과 인체 피부와의 힘에 따른 변위표가 있다. 이것에 따르면 인체 피부 조직과 가장 흡사한 특성을 가진 재질은 폴리우레탄(PUR)임을 알 수 있다(Fig. 4).⁴

1. 실리콘(Silicone, SIL)

- 1) 투과성(Permeability): 높은 수증기 투과성을 갖고 있어, 환부에서 열이 발생하면 밖으로 투과 배출을 할 수 있다.
- 2) 수분 흡수율(Water Absorption): 수분 흡수는 약 5% 정도 밖에 할 수가 없어서 털이 많고, 땀이 많은 환부에는 실리콘 라이너가 불편하다고 할 수 있다.
- 3) 멸균(Sterilization): 끓는 물(120°C)까지 견딜 수 있어, 환부의 세균을 걱정할 경우 6개월에 한 번 라이너를 물에 삶아 사용하는 것을 권장할 수 있다.
- 4) 적용 환부(Indication): 단단한 조직의 환부, 알맞게 생긴 원통 모양의 환부, 돌출된 뼈 구조가 없는 환부, 활동등급(MOBIS® 1~3)
- 5) 재질의 특성(Material properties): 뛰어난 내구성, 우수한 투과성, 복원력이 있다.

2. 코폴리머(Copolymer, TPE)⁵

- 1) 환부 끝을 많이 살려낸 PTB 소켓 타입에는 적용을 권장하지 않는다. 여타 재질의 특성을 이용하여 적용할 수 있지만 실리콘 보다 내구성은 떨어 지므로 고려하여 소켓을 제작해야만 라이너 파손의 불편함이 없다.
- 2) 멸균(Sterilization): 끓는 물이나 수증기에 약함. 매일 세척을 원칙으로 한다.
- 3) 열성형(Thermoformable): 원료가 아닌 기성품에서 열로 성형이 가능하다.
- 4) 적용환부(Indication): 수분을 요하는 건조한 피부, 피부가 얇아 전단력에 약한 환부, 당뇨병자와 같이 피부의 보호를 요하는 환부, 땀이 많은 환부, 상처가 있어 치유를 요하는 환부, 일반적이지 않고 다양한 모양의 절단 환부, 활동등급(MOBIS® 1~2)
- 5) 재질의 특성(Material properties): 뛰어난 탄력성, 우수한 열가소성 소재로 약간의 성형도 가능, 세척하기 쉬움, 땀을 줄일 수도 있다.

3. 폴리우레탄(Poly-Urethane, PUR)

- 1) 반드시 TSB 소켓과 함께 적용해야 함. 비골두나 경골 끝을 살려서 작업하는 PTB 타입에 적용할 경우엔 폴리우레탄의 특성인 점탄성(Viscoelasticity)으로 인해 그 부분만 밀려나가 스트레스를 받고 라이너가 쉽게 망가지게 된다.
- 2) 수분 흡수(Water Absorption): 최대 30%의 수분 흡수율을 자랑할 수 있어, 땀의 배출에도 라이너가 이동되거나 재차 신어야 하는 불편함을 감수할 수 있다.
- 3) 멸균(Sterilization): 끓는 물이나 수증기에 약하나 세균 증식을 만드는 땀의 흡수율이 높아 매일 세척을 함으로써 세균과 냄새 문제를 해결할 수 있다.
- 4) 적용환부(Indication): 돌출된 뼈가 많은 환부, 깊게 패인 상처를 갖고 있는 환부, 민감도가 높은 환부, 활동등급(MOBIS[®] 1~4)
- 5) 재질의 특성(Material properties): 뛰어난 점탄성으로 돌출된 뼈가 있어도 안정감 있게 감싸주어 체중 분산을 시킴, 충격흡수에 가장 좋은 재질로 우수한 완충력, 실리콘과 비교했을 때의 반발력 등이 없어 편안함, 땀을 흡수하여 쾌적한 환경을 유지할 수 있다.⁶

맞춤형 라이너의 제작기법(Manufacturing Method a Custom Liner)

1. 맞춤형 라이너를 필요로 하는 환부⁵

뼈가 심하게 돌출 되어 있는 환부(bony shape) (Fig. 5), 칼집 처럼 길고 깊게 패인 민감한 상처(sensitive with



Fig. 5. Bony shape stump.



Fig. 6. Sensitive stump with invaginated scar.



Fig. 7. Conical stump with firm tissues.



Fig. 8. Conical stump with redundant tissues.

invaginated scars) (Fig. 6), 원추형에 단단한 환부조직(conical with firm tissues) (Fig. 7), 원추형에 과도한 피부조직(conical with redundant tissues)과 같은 환부에 적용된다(Fig. 8).

2. 맞춤형 라이너 제작과정

- 1) 라이너 형태의 공간 채우기: 기존에 신고 있던 필라이트(PE Lite)소켓에 적용하거나 새로 필라이트 소켓을 만들어 작업을 해도 된다. 새로 필라이트 작업을 할 때에는 5 mm두께의 재료를 사용하되 비골두(fibula head)와 경골부위(Tibial crest)에 3 mm두께의 재료를 덧대어 준다(Fig. 9).
- 2) 양성석고 붓기: 필라이트 소켓 주변을 석고붕대로 감싸 보강을 해 준 후, 양성석고를 넉넉히 부어 충분한 작업을 할 수 있도록 소켓 트림라인에서부터 약 6인치 더 길게 석고붕대로 벽을 만들어 주고, 양성석고 부을 준비를 한다(Fig. 10).
- 3) 음성석고 벗겨 내기: 양성석고가 굳은 후 음성석고를 조심히 벗겨낸다. 필라이트가 덮여 있지 않은 부위의 양성석고를 일차적으로 가볍게 다듬어 주고, 앞과 뒤에 12 mm정도의 굽은 드릴 팁으로 각각 두 개씩의 구멍을 7 mm정도 깊이로 낸다. 이는 차후 플라스틱 커버의 정확한 위치를 위해 표시하는 작업이다(Fig. 11).
- 4) 플라스틱 커버 드레이핑 작업 준비하기: 일반 소켓 제작과 달리 두 장의 플라스틱 시트를 양성석고 모델의 양측면에서 붙여 탈부착을 용이하게 한다. 크기에 맞도록 플라스틱 시트를 잘라낸 후 오븐에 넣어 드레이핑 준비를



Fig. 9.

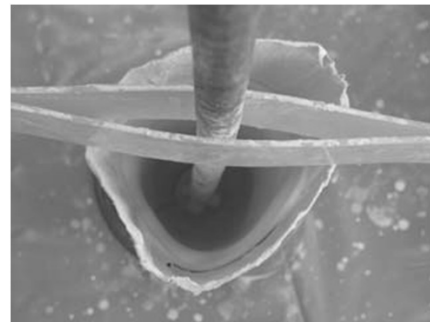


Fig. 10.



Fig. 11.



Fig. 12.

한다. 양성석고 모델은 옆이 보이도록 돌려 고정해 놓고, 두 장의 플라스틱 시트가 접합될 부위를 표시하여 둔다(Fig. 12).

- 5) 플라스틱 커버 드레이핑 하기: 플라스틱 시트에 기포가 생기거나 주름이 생기면 작업에 실패할 수 있기 때문에 반드시 플라스틱이 녹는 정확한 온도와 시간을 준수하는 것이 좋다. 플라스틱이 오븐에서 녹으면 2인 1조로 작업을 하되 양측에서 동일하게 플라스틱 시트를 붙여주고 최대한 접합되는 부위가 편평하도록 유지한다(Fig. 13).
- 6) 플라스틱 시트 작업하기: 두 장의 시트를 분리하기 전에 반드시 해야 하는 작업 세 가지가 있다. 첫 번째, 원위부에 실리콘 주입을 위한 노즐이 들어갈 부위를 크기에 맞게 구멍을 내어 주되 볼트로 막을 수 있도록 나사산(threaded hole)을 내어 준다. 두 번째, 정확한 두께와 위치를 위해 고정핀을 원위부에 끼워주는데, 플라스틱 시트와 필라이트 그리고 석고까지 동시에 뚫어 작은 구멍을 만들어 준다. 세 번째, 접합부를 탈착 후 재 조립 시 정확한 위치확보를 위해 테두리를 따라 볼트와 너트로 고정시켜 줄 구멍을 뚫는다(Fig. 14).
- 7) 플라스틱 시트 분리하기: 테두리의 불필요한 부분은 잘라내어 주고, 일자 드라이버를 이용하여 두 장의 플라스틱 시트를 분리해 낸다(Fig. 15).
- 8) 양성석고 매끈하게 다듬기: 양성석고에 씌워져 있는 필라이트를 제거한다. 양성석고의 표면을 매끈하게 다듬어 주기만 한다. 패여 있는 부분, 주름이 있는 부분, 미세한 구멍이 있는 부분 등을 신경 써서 작업하고, 트림라인 부분을 따라 좀 더 구분되어 지게 작업한다. 마지막으로 왁스나 바세린 등을 이용하여 양성석고의 전면을 얇게 도포하여 준다. 최종으로 작업 되어 나온 라이너의 내부와 연관되어 있기에 각별히 주의해야 한다(Fig. 16).
- 9) 플라스틱 시트 결합하기: 두 장의 플라스틱 시트를 처음 있었던 위치에 정확히 고정시켜 준다. 고정핀으로 위치하였던 플라스틱 시트를 먼저 결합하여 올바른 위치를 선정해 놓아야 라이너의 일정한 두께와 정확한 형태



Fig. 13.



Fig. 14.

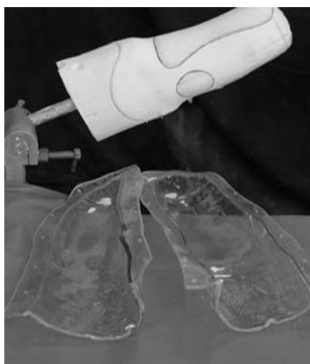


Fig. 15.



Fig. 16.



Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.



Fig. 20.

를 얻을 수 있다(Fig. 17).

- 10) 실리콘 라이너 원액 주입하기: 준비된 형틀을 원위부가 바닥으로 가도록 위치시켜 준다.라이너의 원액을 주입 전용 충을 이용하여 원하는 공간이 채워질 때까지 주입한다. 작업시간은 8분 정도 주어진다(Silicone 10, Renew material, Inc.). 주입을 마쳤으면 준비해 뒀던 나사산이 있는 볼트를 이용하여 주입구를 막아 준다. 주의해야 할 것은 원료가 굳기 시작할 때에 고정핀을 반드시 제거해야 한다(Fig. 18).
- 11) 맞춤형 실리콘 라이너 얻어내기: 원료가 전부 굳으면 플라스틱을 고정하던 볼트와 너트를 모두 풀어주고 플라스틱 시트 두 장을 분리한다. 원료가 굳는 시간은 실내온도가 약 23°C일 때, 약 75분 정도이다(Silicone 10, Renew material, Inc.) (Fig. 19).

만약, 실리콘의 경도를 달리 적용할 부위가 있어서 두 번째 작업을 해야 하는 상황 이라면, 이 단계에서 실리콘 라이너를 양성석고에서 벗겨 내서는 안되니 주의를 요한다(Fig. 20).

맞춤형 라이너와 VASS의 적용(Application of Custom Liner with VASS)

위와 같이 여러 환자와 환부 상태에 따른 적용될 해결책이 있지만, 해결이 충분치 못한 극도의 짧은 환부, 뼈 돌출부가 심한 환부 등 맞춤형 라이너를 필요로 하는 경우가 있다.⁵

맞춤형 라이너의 재질은 크게 실리콘과 폴리우레탄으로 나뉘 수 있으며, 미리 준비되어 있는 형틀에 비슷한 사이즈를 찾아 제작하는 방식(Pre-fabrication)으로 주문할 수도 있으며, 원료를 이용하여 제작 공정을 거쳐 정확한 형태의 맞춤형 라이너(Customized liner)를 주문하거나 직접 제작할 수도 있다. 이 때에도 역시나 앞서 말한 재질의 특성과 환

자의 요구와 상태에 알맞게 선정하여야 한다.

맞춤형 실리콘/폴리우레탄 라이너(Custom SIL/PUR liner)와 VASS(Vacuum Assist Suspension System)을 적용하여 성공한 해외 사례를 몇 가지 보고하려 한다.

적용사례(Case study)

환자는 71세의 남성 하퇴 절단자이며, 2001년 5월 처음으로 VASS시스템을 적용하였습니다. 당시 환부의 상태는 수개월 동안 궤양(ulcer)이 확장되고 개방되어 있었고, 많은 시간을 목발에 체중을 의지하여 생활했습니다.

VASS시스템을 적용한 후 21일이 지난 후 환자는 오랜 시간 잘 참으며 보행을 했습니다(Fig. 21). 11주가 지난 2001년 7월 19일 환부의 궤양이 완전히 치료가 되었습니다. 2002년 5월 28일, 1년이 지난 후 환부에는 어떠한 무리도 없으며 여전히 VASS시스템을 적용하고 있습니다(Fig. 22).

VASS시스템을 최초로 적용하고, 발전시킨 미국의 TEC Interface Systems, Inc.의 사례입니다.

또 다른 환자는 7년간 하퇴 의지를 착용해 온 76세의 남성입니다. 궤양(Ulcer)이 생긴지 2개월이 지난 시점인 2002년 2월 7일 하모니 시스템(Harmony System, ottobock.)을 적용하였습니다. 하모니 시스템을 적용하고 몇 일이 지나자 염증 부위에 딱지가 생겼고, 흘러 내리던 배농이 멈췄습니다. 3개월이 지난 2002년 5월 6일 환부가 깨끗하게 치료가 되었습니다(Fig. 23).

VASS시스템을 적용한 50명의 환자들 중 82%는 좋거나 훨씬 편안한 느낌을 받았다고 하며, 67%의 환자는 육체적인 활동 레벨이 증가되었다고 한다. 착용의 편리함에 대해서는 라이너와 스타킹, 슬리브까지 착용해야 하므로 52%의 환자만이 긍정적인 반응을 보였다. 착용 후의 반응으로는 많은 착용자가 하루 10시간 이상의 활동을 할 수 있다고 했으며, 기존에 이것과 같이 최상의 하퇴의지를 착용해 본 적이 없다고 했다. 결과에서도 볼 수 있듯이 하퇴 의지 착용에 대하여 환자들에게 중요한 요소는 편안함(Comfort)와 활동성(Mobility)이다.

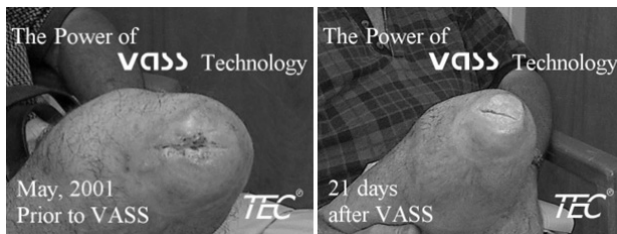


Fig. 21.

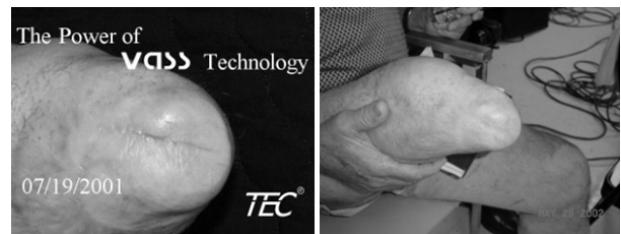


Fig. 22.



Fig. 23.

결 론

맞춤형 실리콘/폴리우레탄 라이너를 제작하여 필요한 환자에게 적용함으로써 가벼움, 통증 감소, 피부 호전 등의 결과들을 얻을 수 있다. 위의 주된 내용에는 활동등급(MOBIS 2~4)이 높으며 환부의 형태가 일반적이지 않고, 상처나 피부트러블이 있을 경우에 맞춤형 실리콘/폴리우레탄 라이너(Custom SIL/PUR Liner)를 적용하고, TSB 소켓에 VASS시스템을 적용한 설명을 주로 했다. 이로 인해 보행 시 압력을 효율적으로 분산시켜 환부의 피부 보호 효과가 더욱 뛰어나고 통증 경감도 시켰다. 구성품을 줄여 의지의 무게 또한 줄일 수 있으나 피스톤 움직임이 적은 VASS시스템에서는 체감되는 무게는 상당히 줄어들게 된다.

맞춤형 실리콘/폴리우레탄 라이너는 기존의 의지제작방법에 비하여 여러 장점들로 인하여 기존의 제작 방법으로 한계를 보인 환자들에게 적합하며 새 삶을 보여주는 의지제작 방법이라 하겠다.⁷ 더하여 기존 의지에 비해 착용시간 및 보행시간 등을 충분히 연장 시켜 활동등급(MOBIS)을 상승시켜서 의지보조기기사는 환자에게 삶의 질의 향상(Quality for Life)에 기여할 것으로 사료된다.

References

1. Joan E. Sanders, PhD, Ernest M. Burgess, MD, "Interface shear stresses during ambulation with a below-knee prosthetic limb" (Journal of Rehabilitation Research and Development Vol. 29 No. 4, 1992, Pages 1-8)
2. J. Goswami, R. Lynn, Glenn M. Street, PhD, "Walking in a vacuum-assisted socket shifts the stump fluid balance" (Prosthetics and Orthotics International, Vol.23, 2003, pages 107-113)
3. Glenn M. Street, PhD, "Vacuum Suspension and its Effects on the Limb" (Orthopädie Technik, Vol.4, 2007, pages 1-4)
4. Steven J. Covey, PhD, PE, Joshua Muonio, Glenn M. Street, PhD "Flow Constraint and Loading Rate Effects on Prosthetic Liner Material and Human Tissue Mechanical Response" (Journal of Prosthetics and Orthotics, Vol.12, No.1, 2000, pages 15-32)
5. Jeff Denune, CP/LP, "Managing difficult Limb Shape with Custom Liners" (Advancing Orthotic and Prosthetic Care, Vol 2. No. 1, March, 2006)
6. W. J. Board et al., "A comparison of trans-tibial amputee suction and vacuum socket conditions," (Prosthetics and Orthotics International, Vol 25. 2001, Pages 202-209)
7. Ju Seok Ryu, M.D., Jeong Yong Hur, C.P.O. and Byung Jik Kang, M.D., "New Method of Prosthesis Fabrication Using Customized Silicon Liner," (Journal of Korean Society Prosthetics and Orthotics, Vol.2, 2008, pages 45-48)