

당뇨병과 바이오 유체공학

신 세 현 · 고려대학교 기계공학과, 교수

e-mail : lexerdshin@korea.ac.kr

국제적인 연구와 노력에도 불구하고, 당뇨 인구의 증가율은 꺾일 줄 모르고 증가하고 있으며 당뇨병의 직간접적인 요인으로 사망하는 율은 해를 거듭하며 증가하고 있는 실정이다. 이러한 당뇨병이 당뇨성 혈관합병증으로 악화되는 것을 사전에 예방하고 이를 조기진단하여 치료하는 것이 매우 중요한데, 이러한 당뇨성 혈관합병증의 유병률을 저감시키기 위해서는 엄격한 혈당관리뿐 아니라 혈관질환의 유무 및 진행 정도를 조기에 진단할 수 있는 진료현장용 진단기술이 절실히 요구된다. 이러한 기술적 수요에 근거하여, 다양한 기술들이 다방면에서 추진되고 있는데, 이러한 진단기술에 바이오 유체공학의 기술이 핵심적으로 사용되고 있으며 이를 통해 향후 바이오 유체공학의 미래를 조심스럽게 전망하고자 한다.

당뇨병, 얼마나 알고 계십니까?

현대를 살아가는 성인들에게 당뇨병(Diabetes Mellitus)은 이제 더 이상 낯설지 않은 질환으로 우리 주변에 성큼 다가와 있다. 당뇨병은 혈액 속에 녹아있는 당(glucose)이 일정 수준 이상으로 높은 상태가 유지되는 질환을 일컫는데, 혈당이 음식물 섭취에 따라 크게 달라지는 문제 때문에 식후 혈당보다는 공복혈당이 표준방법으로 사용되고 있다. 공복혈당이 80~100mg/dl 정도이면 정상으로 분류하며, 이 범위를 벗어나게 되면 잠재적 당

노병 환자로 간주된다. 세계보건기구(WHO)가 정한 진단기준에 따르면, 공복혈당이 126mg/dl 이상일 경우에 당뇨병으로 진단하지만, 최근 국내 연구에 따르면, 한국인의 공복혈당치가 110mg/dl을 넘으면 당뇨병으로 진단해야 한다고 보고하였다. 이러한 진단기준들이 점차 엄격해지는 것은 공복혈당이 110mg/dl 내외에서도 당뇨병의 합병증이 발견되는 사례가 점차 증가하고 있을 뿐 아니라, 치료 중심에서 예방 중심의 의료체계로 전화되어 당뇨병을 조기발견하고 이를 관리 및 치료하고자 함이다.

국내의 당뇨병 현황

국내 통계자료를 분석해보면 문제는 매우 심각한 상황이다. 2005년 건강보험심사평가원이 분석한 결과, 국내의 당뇨병 환자의 수는 2003년 현재 약 500만 명에 이르며, 이는 전 인구의 10%를 넘는 수준이다. 매년 신규 당뇨병 환자 발생건은 1999년에는 40만 명 수준이었으나 꾸준히 증가하여 2003년에는 연 50만 명이 신규 당뇨환자로 발생하였다. 이러한 추세로 가면 2010년에는 국내 전체 인구의 20%가 당뇨환자가 될 것이라는 충격적인 전망이다. 말 그대로,

당뇨대란이 한국인을 향하여 오고 있는지도 모른다. 2005년 대 한당뇨병학회가 발표한 자료에 따르면, 당뇨병이 국내의 사망원 인의 직접적인 원인이 된 비율은 4.9%에 불과하지만, 간접적인 사 망원인까지를 모두 포함하면 52.9%에 이르고 있다고 보고하 여 국내의 의료계뿐 아니라 국민 들에게 큰 경각심을 불러일으키 기도 하였다.(그림 1, 2)

당뇨성 합병증

이러한 사망원인과 관련된 당 뇨병의 핵심은 당뇨성 합병증 (Diabetic complication)에 있 다. 대표적인 합병증으로는 신장 기능의 일부 또는 전부를 상실하 게 되는 당뇨성 신증(Diabetic nephropathy), 시력을 잃게 되 는 당뇨성 망막증(Diabetic retinopathy), 그리고 말초신경 등에 장애를 초래하는 당뇨성 신 경증(Diabetic neuropathy) 등 이 미세혈관질환이며, 심혈관질환 (심근경색 등) 및 뇌혈관질환(뇌 경색 등)과도 당뇨성 합병증으로 발생하곤 한다. 이러한 합병증의 공통점은 모두 만성 질환이라는 점이다. 즉, 단기간에 걸쳐서 질 환이 발생하는 것이 아니라 오랜 시간에 걸쳐서 식습관과 생활습 관 등에 의하여 당뇨병이 합병증 으로 진행되는 것이다. 이러한 당 뇨병을 다른 이름으로는 '대사증

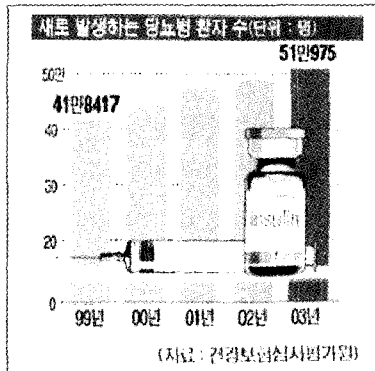


그림 1 신규 발생 당뇨병 환자수

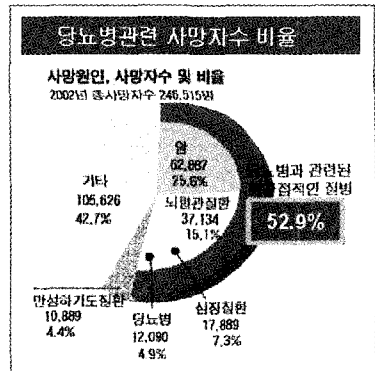


그림 2 사망원인별 주요 질환 비율

후군(Metabolic syndrome)' 이 라고 하는데, 이는 '증후군' 이라 는 용어가 내포하듯이 병의 정확 한 원인과 기전이 잘 알려지지 않았음을 시사하고 있다.

혈당계

현재, 혈당계의 진화는 매우 빠 르게 진행되고 있다. 혈당계 단일 제품이 세계 의료기 시장의 30% 를 차지하고 있는 현실을 감안하 면 그리 놀라운 사실도 아니다. Roche, Johnson & Johnson, Bayer, Abott 등의 다국적 의료 기업체들은 신기술 개발과 더불어 신기술 보유업 체의 M&A에 모든 노력을 기울이고 있다. 국내업체로 는 i-sens가 내수와 수출을 어느 정 도 점유하고 있다. 이와 같은 의료기 업체들은 각 회사

마다 독자적인 혈당측정의 원리 와 방법을 채택하며 산업재산권 을 확보해가며 기술전쟁을 치르 고 있는 중이다. 그 중의 한 측정 원리로서, 당산화제(glucose oxidase)로 알려진 생물학적 촉 매역할을 하는 효소(enzyme)를 이용하여 당을 글루콘산으로 산 화시키는데, 이 때 혈액 내의 산 소를 소비하게 되는 점을 착안하 여 전기화학적 센서에 당산화제 를 고착시켜 혈중 산소의 변화량 을 측정하여 혈당을 측정한다. 현 재, 혈당측정기술은 혈당측정 방 식을 기존의 침습방식, 즉 혈액을 채취하여 측정하는 방식에서 광

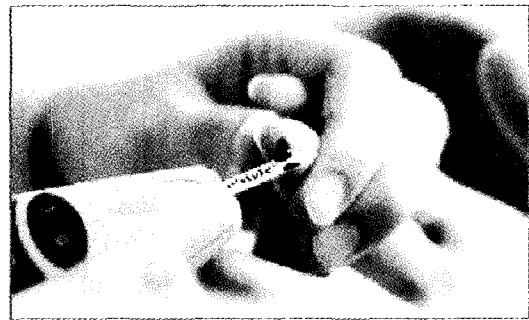


그림 3 손끝에서 채혈하여 혈당을 측정하는 모습

학기술 등을 이용한 비침습방식으로 개발되고 있다. 또한, 혈당의 시간적 불안정성 때문에 이보다 안정적인 값을 제공해주는 당화혈색소(HbA1c)를 측정하는 방식이 곧 금년 안에 시장에 출시될 예정으로 알려져 있어, 또 한번의 혈당계 시장이 요동칠 것으로 보인다.(그림 3)

당뇨성 합병증의 조기 진단

혈당측정기술은 매우 높은 수준으로 개발되어 일반인들에게까지 널리 보급되어 매일 혈당 수치를 측정할 수 있게 되었지만, 정작 당뇨병 혈관합병증의 조기 진단 또는 진행 정도를 측정하는 기술은 현재로서는 매우 취약한 상황이다. 당뇨병 혈관합병증의 무서운 질환의 하나로서 신장(kidney) 기능을 상실하게 하는 당뇨병 신증도 유사한 상황이다. 즉, 당뇨병자가 신장기능의 이상 유무를 알려면, 요검사를 실시하여 미세단백(microalbumin)이 일정량 이상이 검출되거나 혈액 내 일정량 이상의 Serum creatinine이 검출되면 확인되지만 이러한 검사들은 특별한 정밀 검사 항목들이며 많은 비용과 시간을 요하는 단점을 지니고 있다. 문제는 여기에 있다. 혈당을 잘 관리하면 합병증을 사전에 방지할 수 있지만 혈당관리를 잘하였는지 못하였는지에 대한 통합적

인 검사 방법이 부족하다. 또한, 혈당관리가 부실해서 혈관에 어느 정도 부담이 주어졌는지에 대한 검사방법이 개발되어 있지 못하다. 물론, 최근에 와서 동맥경화의 정도를 측정할 수 있는 기술이나, 혈관의 염증진행 유무를 진단해주는 C-활성단백질(CRP) 검사 기법 등이 속속 출시되고 있지만 이는 대혈관의 경화 또는 염증 등으로 이어질 때 진단할 수 있는 방법이고, 미세혈관질환의 경우에는 여전히 특별한 검진 방법이 없는 상태이다.

따라서, 이러한 당뇨병 혈관합병증의 유병률을 저감시키기 위해서는 엄격한 혈당관리뿐 아니라 혈관질환의 유무 및 진행 정도를 조기에 진단할 수 있는 진료현장용 진단기술이 절실히 요구된다. 이러한 기술적 수요에 근거하여, 당뇨병 관련 진단기술 연구가 다방면에서 추진되고 있는데, 그 중에서도 바이오 유체공학의 한 분야인 혈액 유변학과 관련하여 흥미있는 연구들이 진행되고 있어 여기에 간략하게 소개하고자 한다.

풀리지 않는 혈관질환에 대한 새로운 접근 : 혈액유변학 (Hemorheology)

“혈관질환을 일으키는 원인이 무엇인가?”에 대해서 여러 가지 학설이 있지만 아직 확실한 정설

이 없는 가운데 주로 생화학적인 기작을 근거로 설명되어 왔다. 그러나 최근 들어 혈관 내의 혈액의 유동 저항 증가와 이에 따른 혈관내피세포의 변화가 동맥경화 및 협착의 발생기작에 가장 근본적 원인이라는 새로운 연구결과들이 나오게 되었다.

심장병과 동맥경화는 전통적으로 심장내과에서 진단과 치료를 맡아 왔다. 1980년 전에만 해도 막연하게 이런 병의 원인이 고혈압과 높은 콜레스테롤 수치 때문이라고 생각하였으므로 주요 치료 대상 및 방법은 혈압과 콜레스테롤을 정상으로 유지하는 것이었다. 그런데 심혈관질환으로 사망하는 사람들의 절반가량이 정상적인 혈압과 콜레스테롤을 가졌다는 사실이 보고되면서, 그 원인이 다른 데 있을 수도 있다는 연구 패러다임의 변환이 초래되었다.

오래 전부터 혈액유동을 연구하는 사람들은 혈액 유변성(流變性), 즉 얼마나 잘 흐르고 잘 변형될 수 있는지에 대해 관심을 많이 갖고 있었다. 특히 혈관 내의 혈액 유동은 아주 복잡해서 전부터 많은 혈액역학 전문가들이 혈액유동에 대해 열심히 연구하였다. 그러던 중 1980년에 적혈구의 변형성(deformability)과 응집능(aggregation)이 혈액의 점도(viscosity)에 결정적인 요인임이 발견되었고, 이어 임상전문 의들에 의하여 “혈액 점도의 증

가는 대부분의 혈관질환자에서 발견된다”는 다수의 연구결과들이 보고되었다.

혈액유변성으로 풀어본 혈관질환 발병이론의 핵심은 다음과 같다. 혈액 유동에 있어서, 혈구의 변형성이 감퇴되거나 응집성이 증가하면 혈액의 점도, 즉 혈액의 끈적끈적한 정도가 증가되고 따라서, 혈액의 유동성은 크게 저하되며 이에 따른 혈류량은 감소된다. 이러한 혈류량의 감소는 신체 내의 자기보정(auto-regulation) 기작을 통해 혈압을 증대시켜 혈류량을 보사하게 되는데, 이러한 고점도의 혈액이 강한 압력(고혈압)으로 혈관을 지나가게 되면서 혈관의 벽에 큰 마찰력이 걸리게 되고 이러한 유체전단력에 오랜 시간에 걸쳐 노출된 혈관 내피 세포는 손상을 입어 염증을 일으키게 된다는 것이다. 한번 염증반응이 시작되면서, 혈관유동의 환경이 개선되지 않고 동일한 상태를 유지하게 되면, 결국 혈관 벽에 병변이 생겨 점점 혈관의 직경을 감소시키고 결국 심각한 혈류 장애를 일으키거나 심각한 혈관질환에 이르게 된다.

1cm³의 피 한 방울 속에는 직경 8μm, 높이 2μm 크기의 적혈구가 약 500만 개 정도가 들어 있다. 이 적혈구는 중앙 부위가 안으로 움푹 들어간 원형 디스크 모양이며, 자기보다 작은 미세혈관들을 통과하는 능력을 갖고 있는데, 이것이 바로 변형성(defor-

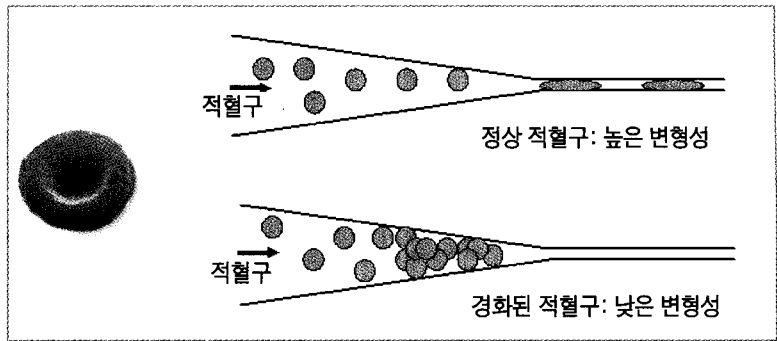


그림 4 적혈구의 변형성이 혈액의 미세순환에 미치는 중요성

mability)이다. 이러한 적혈구가 만일, 변형성을 잃게 되면, 자신보다 작은 혈관을 통과할 수 없게 되어 혈액순환에 있어 중대한 문제가 발생하게 된다. 혈액 중에 포함된 비정상적인 고혈당 또는 고콜레스테롤에 의하여 혈구의 변형성이 감퇴되는 것으로 밝혀졌으며, 그 외에도 혈장 내 다양한 물질들이 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다.

혈구의 변형성과 관련된 질환으로는, 신장질환(nephropathy), 망막질환(retinopathy), 신경증(neuropathy) 등의 미세혈관질환에서 주로 발견되며 이러한 질환은 당뇨 합병증으로 대부분 발견된다. 또한, 협심증(angiopathy), 심근경색(myocardial infarction) 등의 관상동맥 질환, 뇌졸중(stroke)같은 뇌혈관질환, 고혈압 등에서도 혈구변형성의 감퇴와 매우 높은 상관성을 갖는 것으로 알려져 있다. 그 외에도, 혈전증(thrombosis), 고지혈증(hyperlipidemia), 패혈증(sepsis), 혈색소병증(hemoglobinopathy)

및 기타 말초순환장애 질환에서 등에서도 발견되며, 국내에서는 희귀한 겸상적혈구빈혈증(sickle cell anemia), 지중해빈혈증(thalassemia), 말라리아(malaria) 등에서도 적혈구 변형성 감퇴가 두드러지게 나타난다.

최근에 발표된 논문에 따르면 당뇨병 신장질환과 혈구변형성이 높은 상관성을 갖는 것으로 보고되었다. 건강검체군(40명), 당뇨병 DM, 57명), 당뇨병 만성신부전증(DM-CRF, 26명) 및 당뇨병 말기신부전증(DM-ESRD, 30명)에 대하여 혈구 변형성 검사를 한 결과, 당뇨병 환자도 이미 9.3% 정도의 혈구변형성이 크게 감퇴되었으며, 당뇨병 미세혈관질환인 DM-CRF의 경우, 변형성이 13.8% 정도 더욱 감퇴되었고, 신장질환의 말기증상인 당뇨병 말기신증의 경우에는 14.7% 저하되었고, 당뇨병 망막증과 동반한 경우에는 무려 16.2%까지 감퇴되었다. 이는, 혈구변형성이 당뇨병의 합병증의 진행 정도에 따라 점진적으로 감소하는 것을

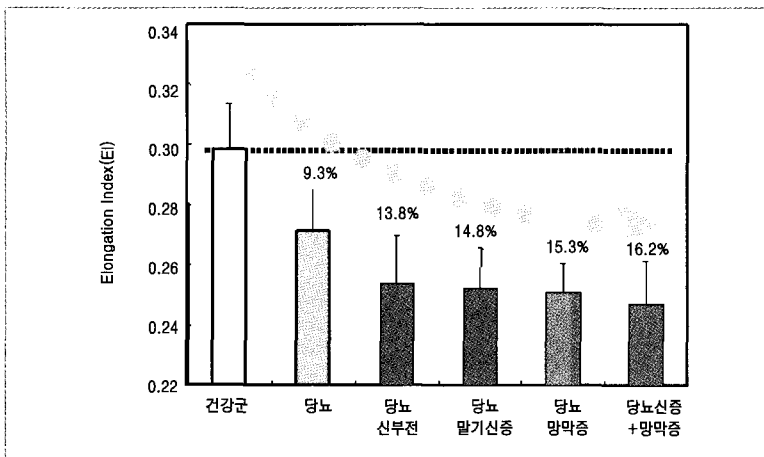


그림 5 당뇨병병증의 심화에 따른 적혈구 변형성의 감퇴

나타내며, 혈구변형성을 통한 당뇨병 신증의 진행 정도를 진단할 수 있음을 의미한다.

적혈구 변형성의 측정방법

오래전부터 사용되어온 방법으로는, 음압 또는 양압을 가하여 혈구들이 3~4 μ m 크기의 다공성 필터를 통과하는 시간을 측정하는 방식으로 혈구의 변형성을 측정하여 왔다. 최근에는 다공성 필터를 대신하여 정교하게 만들어진 MEMS 필터를 사용하면서, 이를 현미경으로 관찰하는 기법

이 개발되었다. 이 기법은 변형되면서 통과하는 혈구의 모습을 직접 영상으로 보여주는 가시적 효과는 매우 높은 반면, 측정의 반복성이 매우 낮으며 측정을 표준화하는 방법이 없는 단점을 가지고 있다. 이에 반해, 이중동심원관 또는 평행평판 등의 구조를 갖으며 회전형 쿠프레(Couette)유동을 형성하면서 다양한 속도로 구동시키면서 유체 전단력으로 혈구를 변형시킨 후, 이에 레이저를 조사시켜 회절되어 나온 무늬를 영상으로 촬영하여 분석하는 기법이 보다 정밀한 측정으로 여

겨지면서 널리 사용되고 있다. 이러한 기술들은 모두, 연구실 환경에서만 사용이 가능하도록 설계되어 임상현장에서 사용할 수 없는 단점이 있다. 이러한 점을 고려하여 일회용 마이크로 채널을 이용한 레이저 회절기법을 적용한 기법이 개발되어 회전형 쿠프레 유동장치와 같은 높은 정확성과 반복재현성을 갖는 것으로 확인되어 임상현장에서 정확한 측정이 가능하게 되었다.

적혈구 응집능 (Erythrocyte Aggregability)과 혈관질환

사람의 혈구는 자연적으로 서로 응집(aggregation)하려는 현상을 지니고 있는데, 혈구의 면과 면이 서로 맞대어서 응집되는 현상을 '연전(Rouleaux)'이라 하며, 그 응집되는 정도를 응집능(aggregability) 또는 응집률(aggregation rate)로 정의하였다. 이러한 응집능은 오래전부터 혈액검사의 기본항목으로 사용되어온 적혈구침강률(ESR)과 거의

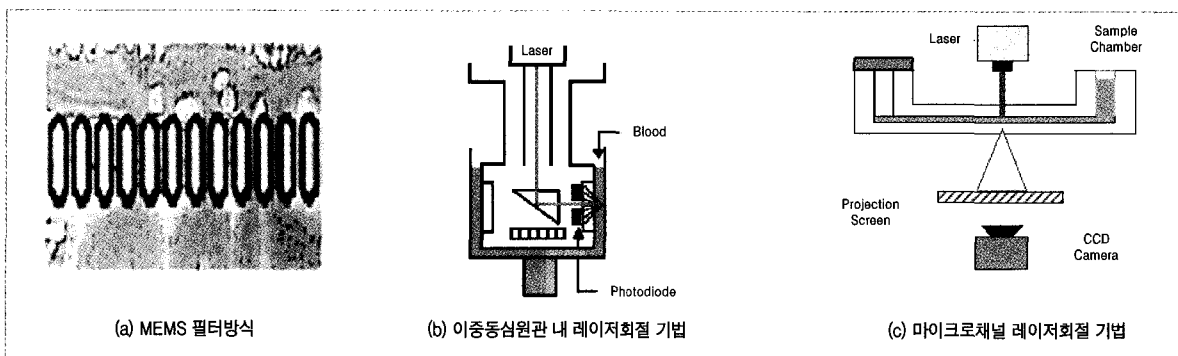


그림 6 적혈구 변형성의 측정 기술들

동일한 의미를 갖고 있어 조만간에 혈구응집능 검사가 이를 대체 또는 보강 항목으로 사용될 것으로 보인다. 현재, 적혈구응집능은 심혈관 질환들과도 매우 밀접하게 관련되어 있음이 최근에 밝혀짐에 따라, 그 임상적 응용 범위가 급속히 확대 중에 있다.

그러나 국내 일부 한의원 등에서 정상적인 혈구응집현상까지도 비정상적으로 분류하는 경우가 있는데, 그것이 바로 말도 많고 탈도 많은 생혈분석기라는 것이다. 이는, 암시야(dark-field) 현미경 기술을 이용하여 미세입자의 최외곽 경계면만을 밝은 색으로 나타내주는 광학기법 중의 하나로서 이를 혈구세포 관찰에 적용한 것이다. 혈구세포를 슬라이드 유리판에 올리고 커버유리판을 덮으면서, 혈구들이 균일하게 하나의 층(layer)으로 분포시키는 도말작업을 하는데, 이 때 작업자의 도말 정도에 따라 건강인이라 할지라도 자연스럽게 응집되었던 혈구들을 분리시킬 수도 있고 응집된 상태로 보이게 할 수도 있다는 점이다. 따라서, 이러한 암시야 현미경을 이용한 생혈분석



그림 7 건강인의 혈구 응집 현미경 사진

방법을 임상진단용으로 사용하는 것은 적당하지 않은 것으로 판명되었다. 이러한 생혈분석기 덕분에 많은 사람들이 혈구응집에 대해서 영상 사진을 볼 기회가 주어졌다는 점에서 매우 큰 기여를 하였지만 일반인들에게 잘못된 의학지식이 퍼지게 되었다는 점에서는 크게 우려할 일이 아닐 수 없다.

혈구응집의 임상적 중요성

혈구 응집은 건강인이라 할지라도 관찰된다는 점을 다시 한번 강조해두고, 다음에는 혈구의 과도 응집(hyperaggregability)에 대해서 살펴보고자 한다. 혈구 응집능이 정상에 비하여 과도하게 클 경우, 혈액의 점도는 현격하게 증가되고 혈액유통의 저항도 증가한다. 일반적으로 혈액의 점도는 비뉴턴성 유체의 특성을 지니고 있어 전단율(shear rate)의 증가에 따라 점도가 감소하는 '전단박화(shear-thinning)' 특성을 나타낸다. 이를 바꾸어 말하면, 전단율이 감소할수록 혈액의 점도는 증가하는 현상을 나타낸다는 것을 뜻하는데, 이러한 낮은 전단율에서의 점도 증가의 핵심 원인이 바로 '혈구 응집'이다. 체내의 혈액유통에서 전단율이 작은 혈관유통 영역에서 혈구의 응집률이 증가하고, 이에 따른 혈액 점도와 혈관유통저항은 동반 상승하여 심장과 혈관 모두에게 유

체역학적 부담을 주게 되며 이러한 상태가 장기간에 걸쳐 지속될 경우, 치명적인 혈관질환이 발생하게 되는 것이다.

혈구의 응집능과 관련된 질환으로는 심근경색(myocardial infarction), 협심증(angina), 심근비대증(cardiac hypertrophy) 등과 같은 관상동맥질환과, 뇌혈관질환, 혈전증(thrombotic disorder), 고지혈증(hypercholesterolemia) 등이 있다. 상기 열거한 질환들의 공통적인 특징은, 자각 증상이 없다가 질환의 말기에 발견되어 치료할 기회가 별로없이 치명적인 발병을 하는, 그래서 흔히 말하는 '침묵의 살인자(silent killer)'로 알려진 무서운 질환들이다. 이러한 침묵의 살인 질환들에 대한 조기진단이 그래서 강조되고 있으며, 정기적인 검사의 중요성이 부각되는 것이다. 그러나 현재의 생화학적 진단검사 방법과 혈구 응집능의 항목이 함께 진단검사 항목으로 활용되면, 관련 혈관질환의 조기검진율을 혁신적으로 제고할 수 있을 것이라는 전망이다.

적혈구 응집의 측정방법

적혈구 응집능 측정방법 중 가장 전통적인 방법으로 적혈구 침강률(ESR)이 있다. 이는 혈액을 원형튜브에 넣은 후, 중력방향에 평행하게 1시간가량 세워놓은 후 혈장과 혈액이 분리된 길이를 측정하는 방법으로, 지금까지도 혈

액검사의 기본 항목으로 측정되곤 한다. 그러나 과다한 측정시간과 소요 샘플량으로 인해 여러 가지 불편을 겪고 있지만 전통적인 항목이기에 현재 많은 병원에서 채택하고 있다. 다른 측정방법은 회전형 쿠프유동(Couette flow) 장치 내에 전혈(whole blood)을 넣은 후, 이를 높은 전단율로 유동시켜 응집된 혈구를 완전 분산시킨 후, 급격히 회전을 정지시킨 후에 혈구의 응집되는 정도를 빛 또는 초음파가 혈구에 의하여 산란된 신호를 측정하는 방식이 제시되었다. 이러한 기술들은 높은 정밀도와 반복성임에도 불구하고, 임상현장에서 사용하기 힘든 세척과정과 사용의 복잡성, 긴 측정시간 등이 문제로 지적되었다. 최근, 제안된 기술 중의 하나는 일회용 마이크로칩을 사용하여 진료현장에서 사용 가능하도록 제시하였으며, 또한 혈구의 초기분산을 위하여 진동, 마그네틱 교반, 일회용 쿠프유동 장치 등의 방법 등이 제시되었다. 또한, 기존의 방법을 대신하여 전기유전(dielectric)적 방법을 통하여 혈구응집을 측정하는 기술이 제안되어 개발 중에 있다.

바이오 유체공학에 대한 기대

바이오 유체공학의 응용은 의료현장과 시장의 수요를 근거로 하여 연구가 출발되어야 한다는 점을 간과해서는 아니 될 것이다. 많은 의용생체공학의 연구결과가 임상현장에서 쓸모없이 개발되었다며 사장되는 일이 있어왔기에, 바이오 유체공학의 출발점은 반드시 의료시장의 목소리를 들어야 하며, 의료 현장의 애로점을 이해한 후에, 이를 혁신적으로 해결할 수 있는 창의적 접근과 해법이 필요한 것이다. 겉으로 보기에는 당뇨병과 유체공학이 연관되리라고 생각하기 쉽지 않지만, 의료현장에서 혈구의 변형성과 응집능을 측정하는 기존의 방법이 유체역학적인 애로사항과 기술적 한계 때문에 임상진단기술로 사용되지 못하는 시장적 잠재요소까지 보게 된다면 이는 당연히 바이오 유체분야의 공학 연구자로서 흥미와 관심을 갖게 된다.

바로, 이 점이 핵심이다. 기계공학이 의료현장에서 무엇이 필요한지를 알 필요가 있고, 또한 국내외적으로 의료시장의 수요와

기술의 동향을 접할 수 있어야 새로운 바이오 유체공학의 미래가 열릴 것이다. 현재 및 미래의 의료현장에서 필요로 하는 바이오유체 공학의 발전은 참으로 다양하며 무궁무진하다고 할 수 있지만, 바꾸어 말하면 이러한 수요를 대응하기 위해서는 기존의 유체공학 분야 영역을 뛰어넘어 새로운 바이오유체 분야의 개척이 필요하다는 부담스러운 의미이기도 하다. 일례로, 마이크로 유체역학(microfluidics) 분야는 이제 더 이상 전통적 기계공학 연구자만의 것이 아니고 전기전자, 화학공학, 생물학 등의 분야 연구자들이 편하게 다루는 화두가 된 것을 볼 때마다 유체공학 연구자로서 위기감을 느낀다. 그러나 그들이 미세유체역학을 연구하면서 우리에게 접근해오기까지 얼마나 힘이 들었을까 생각해 보면, 반대로 우리는 그들의 분야로 나가지 못한 나태함을 반성하여야 할 것이다. 위기는 위험과 기회가 동시에 오는 것을 일컫는다고 현자들이 말하곤 한다. 우리는 그러한 위기에 있으며, 이러한 위기를 좀더 근면하고 창의적인 기계공학 연구자들의 관심과 노력을 통해 슬기롭게 대처해 나아가기를 기대해본다.