

Trends in the Use of Preconditioning to Hypoxia for Early Prevention of Future Life Diseases

미래 질환 예방을 위한 저산소 전처리 치료 전략

Hyun Jun Park., M.D. (박현준)

현대 항노화의학은 단순한 노화 지연을 넘어, **노화 유전자의 발현 억제**, **줄기세포의 재활성화**, **만성염증의 예방** 등을 통해 질병 이전 단계에서의 생리적 개입(Prediagnostic Anti-Aging Intervention)을 목표로 하고 있습니다. 이러한 맥락에서 저산소 전처리(Hypoxic Preconditioning, HPC)는 유전자 수준에서의 적응적 스트레스 반응(adaptive hormesis)을 유도함으로써, **노화 기전의 핵심인 산화스트레스**, **세포 노화**, **만성염증**을 억제하는 전략으로 주목받고 있습니다.

항노화 관점에서의 저산소 전처리 기전

- HIF-1 α (Hypoxia-Inducible Factor 1-alpha)의 활성화를 통해 **항산화 효소(SOD, catalase)** 및 **미토콘드리아 생합성(PGC-1 α)** 경로가 유도되어 세포 생존력을 극대화합니다.
- HPC 는 세포 자가포식(autophagy)을 촉진하여 **손상된 단백질과 소기관 제거**, **노화 유도 인자의 축적 방지**에도 기여합니다.
- 노화에 수반되는 만성저등급염증(inflammaging)의 핵심 사이토카인들(IL-6, TNF- α 등)을 감소시켜 **염증성 노화 반응의 억제** 효과가 나타납니다.

임상적 적용 및 항노화 효과

1. **신경 보호**: HPC 는 뇌신경세포의 ischemic tolerance 를 유도하여 **인지기능 저하 및 알츠하이머의 진행 억제** 가능성이 보고되고 있습니다.
2. **근육 기능 유지**: 노화 관련 **근감소증(sarcopenia)** 예방을 위해, HPC 는 근육 내 산화대사를 조절하고 **근육 재생을 유도하는 위성세포 활성화를** 도울 수 있습니다.
3. **대사 항노화**: HPC 는 인슐린 감수성 향상 및 지방산 산화 촉진을 통해 **노화 관련 대사 증후군 및 당뇨병 예방**에 기여할 수 있습니다.
4. **세포 노화 지연**: HPC 는 **텔로미어 길이 보존**, **p53/p21 억제** 등의 경로를 통해 세포 노화의 진행을 억제합니다.

적용 기술 및 향후 전망

IHHT (Intermittent Hypoxia-Hyperoxia Training), 저산소 챔버 요법, 고지대 시뮬레이션 트레이닝 등은 비침습적이고 반복 가능한 방식으로 HPC 를 일상에 접목시킬 수 있게 하였으며, 개인 유전체 정보 기반의 **맞춤형 HPC 프로토콜** 개발은 항노화 치료의 정밀화에 크게 기여할 것으로 기대됩니다.

결론적으로, 저산소 전처리는 "스트레스를 이용한 생리적 회춘"이라는 항노화 개념을 실제 임상에서 구현할

수 있는 강력한 전략이며, 향후 예방 중심의 항노화 치료 패러다임 전환에 중심적 역할을 할 수 있을 것입니다.