

低血糖による糖尿病網膜症の発症・進展に対するミトコンドリア由来活性酸素種 (mtROS) と脂肪酸酸化の関与-糖尿病網膜症発症の新たなメカニズムの可能性-

(Hypoglycemia induces mitochondrial reactive oxygen species production through increased fatty acid oxidation and promotes retinal vascular permeability in diabetic mice: novel mechanism of hypoglycemia-induced diabetic retinopathy)

【目的】 低血糖と糖尿病網膜症の関与を示唆する報告があるが、その機序は不明である。熊本大学大学院代謝内科学では糖尿病合併症発症仮説として、高血糖下における「ミトコンドリア由来活性酸素種 (mtROS) 過剰産生」説を提唱しているが、低血糖下においても mtROS が増加し、大血管内皮障害を引き起こすことを報告。一方、糖尿病網膜症の初期病態の一因は血液網膜関門 (BRB) の破綻による血管透過性の亢進とされており、低血糖による β 酸化亢進と mtROS の増加が血管透過性亢進を誘導するという仮説を立てた。低血糖による糖尿病網膜症の発症・進展機序を解明することを本研究の目的とした。

【方法】 細胞はヒト網膜毛細血管内皮細胞 (HRMECs) を用いた。mtROS 特異的除去酵素である manganese superoxide dismutase (MnSOD) とカルニチンパルミトイルトランスフェラーゼ 1 阻害剤である etomoxir を使用し、5.5 mM (Normal 群)、2.5 mM (Low 群) の糖濃度にて培養した。① mtROS 産生への影響は還元型 Mitotracker Red を用いて、② 血管透過性因子である vascular endothelial growth factor (VEGF) の mRNA 発現を RT-PCR 法により、③ 血管透過性への影響を血管透過性実験に検討した。④ 細胞間接着因子である VE-cadherin のリン酸化を Western blot 法にて、発現部位を細胞免疫染色法にて評価した。⑤ 野生型マウス (WT) と血管内皮特異的 MnSOD 発現マウス (eMnSOD-Tg) に対してストレプトゾトシンにより糖尿病 (DM) を導入し、DM2 週間より、インスリンにて低血糖刺激 (目標血糖 45 mg/dL、持続時間 60 分、計 6 回/2 週) を実施した。これらマウスの網膜における酸化ストレスを 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) 抗体、血管透過性を Albumin 抗体、VEGF 抗体を用いて蛍光免疫染色法により評価を行った。

【結果】 ① Low 群では Normal 群に比し、mtROS 産生増加を認め、MnSOD 過剰発現細胞および etomoxir を添加した細胞では、低グルコース誘導 mtROS 増加の抑制を認めた。②-④ Low 群では Normal 群に比し、VEGF の mRNA 発現増加、FITC 蛍光強度の増強および VE-cadherin のリン酸化の増強と細胞質内移動の亢進を認めた。MnSOD 過剰発現群や etomoxir 添加群においては、これら発現の増加は Normal 群と同程度に抑制された。⑤ WT-DM-低血糖群では、WT-DM 群に比し網膜における 8-OHdG、Albumin、VEGF の染色増強を認めた。Tg-DM-低血糖群、WT-DM-低血糖+etomoxir 群では、これら染色増強の抑制を認めた。

【考察】 本研究より、低血糖時の網膜血管内皮細胞において脂肪酸酸化亢進を介して mtROS 産生増加が認められること、また、低血糖由来 mtROS が血管透過性因子の発現亢進を促し、BRB 破綻の一因になりうることを初めて示した。

【結論】 ヒト網膜毛細血管内皮細胞および DM モデルマウス網膜において、低グルコース状態により、糖尿病網膜症の初期病態である血管透過性の亢進を認めた。低グルコース状態において、血管透過性亢進は脂肪酸酸化亢進を介した低グルコース誘導 mtROS が関与することを確認した。低血糖時に脂肪酸酸化を阻害し mtROS 産生を抑制することは、低血糖状態による糖尿病網膜症を抑制するための新たな治療ターゲットになりうると考えられた。