

## STRESZCZENIE

mgr inż. Paulina Małkowska

### **Ekspresja wybranych genów i białek związanych z odpowiedzią zapalną w reakcji na progresywny test do odmowy u sportowców wyczynowych i osób niećwiczących**

Aktywność fizyczna stanowi kluczowy czynnik modulujący równowagę metaboliczną i immunologiczną organizmu, głównie poprzez generowanie kontrolowanego stresu fizjologicznego, który inicjuje kaskadę sygnałów odpowiedzialnych za przebudowę metaboliczną, adaptację tkankową i regulację odpowiedzi zapalnej. To właśnie ostry stres wysiłkowy wpływa na poziom krążących cytokin oraz ekspresję genów zaangażowanych w mechanizmy reagowania na stres, procesy zapalne i gospodarkę energetyczną. Regularny trening prowadzi do utrwalenia tych szlaków adaptacyjnych, dzięki czemu organizm reaguje na obciążenia bardziej efektywnie i z większą precyzją regulacyjną. Wśród markerów szczególnie istotnych dla oceny dynamiki stresu wysiłkowego znajdują się cytokiny pro- i przeciwzapalne (TNF- $\alpha$ , IL-4) oraz białka metaboliczne pełniące funkcje czujników stresu komórkowego (FGF21, GDF15), a także ich receptory. Dodatkowo, ocena odpowiedzi układu leukocytarnego – całkowitej liczby leukocytów, limfocytów i neutrofilii – stanowi istotny element analizy immunologicznej reakcji na intensywny wysiłek i wynikający z niego stres fizjologiczny.

Celem niniejszej pracy była kompleksowa charakterystyka odpowiedzi molekularnej i immunologicznej na progresywny test wysiłkowy do odmowy u sportowców oraz osób niećwiczących. Analiza obejmowała oznaczenia stężeń białek FGF21, GDF15, TNF- $\alpha$  i IL-4 w osoczu metodą immunoenzymatyczną ELISA oraz ocenę ekspresji genów kodujących te białka i ich receptory (FGFR1, FGFR3, FGFR4, KLB, GFRAL, TNFR1, TNFR2, IL-4R) z wykorzystaniem ilościowej reakcji PCR w czasie rzeczywistym (RT-qPCR). Dodatkowo analizowano wybrane parametry hematologiczne – liczbę leukocytów, limfocytów i neutrofilii – jako wskaźniki dynamiki odpowiedzi odpornościowej. Badaniem objęto 15 wytrenowanych sportowców i 15 osób nieaktywnych fizycznie, u których pobierano próbki krwi w sześciu punktach czasowych: przed wysiłkiem, bezpośrednio po jego zakończeniu oraz po 30 minutach, 6 godzinach, 24 godzinach i 48 godzinach. Test wysiłkowy stanowił progresywne obciążenie do odmowy, umożliwiające precyzyjną ocenę wydolności tlenowej.

Wyniki badań wykazały, że intensywny, jednorazowy wysiłek nie wpływa na ekspresję *FGF21* i *GDF15*, natomiast u osób niećwiczących obserwuje się silniejszą i szybszą aktywację

receptorów szlaku FGF21 (FGFR3, FGFR4, KLB), co wskazuje na większą wrażliwość stresową w porównaniu ze sportowcami. Profil ekspresji *TNF- $\alpha$*  i *TNFR1* u osób nieaktywnych potwierdza dominację odpowiedzi prozapalnej, podczas gdy u sportowców brak zmian ekspresji genów zapalnych odzwierciedla działanie adaptacyjne regularnego treningu. Jednocześnie wyższe stężenia FGF21 i GDF15 w osoczu osób niećwiczących potwierdzają większe obciążenie metaboliczne i mitochondrialne wywołane wysiłkiem, natomiast spadek *TNF- $\alpha$*  po 48 godzinach u sportowców świadczy o sprawniejszym wygaszaniu reakcji zapalnej. Obniżenie stężenia IL-4 u osób niećwiczących sugeruje słabą odpowiedź przeciwzapalną w grupie bez adaptacji treningowej.

Wyniki świadczą o złożonej, dynamicznej odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny, obejmującej zarówno zmiany ekspresji genów, jak i stężeń odpowiadających im białek, które różnią się między sportowcami a osobami niećwiczącymi. Uzyskane dane pozwalają lepiej zrozumieć mechanizmy regulacji metabolicznej, zapalnej i stresowej towarzyszącej obciążeniu fizycznemu oraz wskazują, które szlaki molekularne są szczególnie aktywowane w zależności od poziomu wytrenowania. Wyniki mogą być wykorzystane do projektowania spersonalizowanych programów treningowych, monitorowania adaptacji organizmu do wysiłku oraz identyfikacji biomarkerów przydatnych w ocenie wydolności i regeneracji.

