

Otrzymano: 2004.05.11
Zaakceptowano: 2004.12.10

Scintigraphic assessment of normal values of lower limb perfusion under stress and at rest, with possible clinical applications

Izotopowe określenie prawidłowych wartości perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i wysiłku z uwzględnieniem możliwości ich zastosowania w diagnostyce klinicznej

Bogdan Małkowski, Andrzej Zając, Zbigniew Maziarz, Grzegorz Zaborowski, Magdalena Ryglewska-Brzozowska, Andrzej Malara, Wiesław Tryniszewski

Zakład Diagnostyki i Terapii Radiologicznej i Izotopowej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, Polska

Praca wykonana w ramach badań własnych Zakładu Diagnostyki i Terapii Radiologicznej i Izotopowej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

Adres autora: Bogdan Małkowski ; Zakład Diagnostyki i Terapii Radiologicznej i Izotopowej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, e-mail: bm@sunlib.p.lodz.pl

Summary

Background:

The lack of a range of normal values of perfusion in the lower limbs during stress and at rest narrows the use of this type of diagnostic tool to the estimation of the current state of relative perfusion without indications of the presence or level of perfusion disturbances. Numerous reports on early changes in endothelium reactivity (depending on disease and degree of vessel pathology) encouraged us to assess lower limb perfusion in healthy people. Our goal was to 1) work out a program and method which would enable lower limb perfusion assessment under stress and at rest in patients without signs of lower limb circulation deprivation and 2) establish the normal range of indexes of lower limb perfusion under stress and at rest which would enable their use in the diagnostics of lower limb muscle circulation.

Material and Methods:

33 male patients aged between 25 to 45 years (mean: 35.30 ± 6.04) without signs of circulatory problems were entered into the study. To exclude circulatory disturbances, Doppler USG, blood pressure, and laboratory tests were performed on every patient at rest 5 min. after the injection of 11.1 MBq/kg ^{99m}Tc MIBI. Whole body as well as thigh and calf scintigrams were made with an ELSCINT SP6HR gamma-camera. The symmetry of the thigh and calf perfusion (WSU, WSP) and the indexes of the thigh (WPLU, WPPU) and calf (WPLP, WSPP) perfusion of both lower limbs were estimated.

Results:

At rest: WSP: 96.47% ± 1.02, WSP: 96.47% ± 1.02, WPLP: 9.77 ± 0.32, WPPP: 9.78 ± 0.31, WPLU: 8.45 ± 0.22, WPPU: 8.48 ± 0.22. Under stress: WSP: 96.69% ± 1.32, WSU: 96.41% ± 1.20, WPLP: 8.78 ± 0.26, WPPP: 8.81 ± 0.25, WPLU: 7.77 ± 0.25, WPPU: 7.82 ± 0.26. Anamnesis, additional studies, and laboratory tests in the group examined did not show any circulatory disturbances.

Conclusions:

The estimated values in patients without circulatory disturbances are similar and within a narrow range, which allows us to calculate the norms of lower limb perfusion at rest and under stress. The determined normal values may be essential in diagnostics in permitting differentiation of healthy patients from those with vascular pathology of the lower limb circulation at an early stage.

Key words:

Muscle perfusion • MIBI • lower limb circulation

PDF file:

http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol_70/nr_2/5584.pdf

Wstęp

Niektóre schorzenia, upośledzające perfuzję mięśni kończyn dolnych, są niejednokrotnie mało odczuwalne dla pacjenta i trudne do rozpoznania przez lekarza. Brak objawów klinicznych nie oznacza iż cały układ krążenia funkcjonuje prawidłowo, bez regionalnych zaburzeń. Perfuzja mięśni może być zróżnicowana i wahać się w zależności od stopnia uszkodzenia śródbłonna i samych naczyń [6]. Istotnym czynnikiem pełniącym rolę w procesie homeostazy jest śródbłonek naczyniowy tworzący selektywną barierę zapobiegającą przechodzeniu większości doniesienia z zawartych w naczyniach lub ułatwiający przechodzenie niektórych z nich w formie transportu aktywnego. Komórki śródbłonna aktywne metabolicznie regulują napięcie ścian naczyniowych, modulują przepuszczalność naczyń. Endotelium kontroluje płynność krwi i przebieg procesów zapalnych oraz odpowiada za uwodnienie tkanek [4,5]. Wysilek jeszcze bardziej wpływa na zmianę perfuzji mięśni. W patomechanizmie rozwoju miażdżycy doniesienia o wczesnym uszkodzeniu funkcji śródbłonna naczyniowego a zwłaszcza jego upośledzona reakcja na wysilek, stwarzają potrzebę poszukiwania metod mogących w sposób prosty i nieinwazyjny określić perfuzję krwi w mięśniach, oraz wykryć odchylenia od stanu prawidłowego a tym samym rozpoznać wczesny okres rozwoju tej patologii.

Medycyna nuklearna posiada znaczniki i metody, pozwalające na wykrycie nieprawidłowości w perfuzji mięśni. Zaburzenie gromadzenia znacznika określającego perfuzję mięśni może wynikać zarówno z upośledzenia przepływu krwi przez naczynia krwionośne jak również z zaburzeń jego transportu przez ścianę naczyniową a w końcu z upośledzenia aktywności metabolicznej komórek mięśniowych. Jednak dotychczas posługiwano się jedynie metodami jakościowymi i nie opracowano zakresu wartości prawidłowych tego badania [7,22,25,41]. Brak zakresu wartości prawidłowych perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i wysiłku ograniczał dotychczas stosowaną radioizotopową diagnostykę jedynie do oceny względnego ukrwienia, bez możliwości wyciągania ilościowych wniosków odnośnie stanu i wielkości tego upośledzenia.

Powyższe motywy były podstawą do podjęcia pracy pozwalającej określić prawidłową perfuzję mięśni kończyn dolnych u osób zdrowych.

Celem pracy było:

1. opracowanie programu i metody pozwalających na ilościową ocenę perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i wysiłku w grupie pacjentów bez klinicznych cech upośledzonego krążenia,
2. ustalenie zakresu wartości wskaźników prawidłowej perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i wysiłku, umożliwiających ich zastosowanie w diagnozowaniu zaburzeń ukrwienia mięśni.

Materiał i Metoda

Po dokładnej analizie wywiadu, badań laboratoryjnych i klinicznych, do ocenianej grupy włączono 33 mężczyzn niepalących w wieku 25 ÷ 45 lat (średni wiek 35,30±6,04

lat), skierowanych na radioizotopowe badania perfuzyjne mięśni kończyn dolnych i serca w spoczynku i wysiłku.

Kryteria włączające:

- wyrażona świadoma zgoda na udział w badaniu i udostępnienie dokumentacji medycznej,
- prawidłowa masa ciała mieszcząca się pomiędzy 18 a 25 BMI,
- brak zaburzeń krążenia w układzie naczyniowym mięśni kończyn dolnych określonych na podstawie wywiadu oraz przeprowadzonych badań ogólnych, USG, klinicznych i laboratoryjnych (patrz metody) ze szczególnym wykluczeniem:
 - zmian w obrazie ultrasonograficznym układu tętniczego kończyn dolnych
 - objawów klinicznych choroby wieńcowej oraz zmian w spoczynkowym zapisie EKG, charakterystycznych dla niedokrwienia mięśnia sercowego w zakresie odcinka ST
 - nadciśnienia tętniczego
 - schorzeń mających wpływ na układ krążenia (cukrzyca, nadczynność i niedoczynność tarczycy, choroby hematologiczne, schorzenia wątroby),

Protokół badania został zaakceptowany przez Komisję Etyczną Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

I. Badania pozwalające na włączenie do analizowanej grupy

W analizowanej grupie pacjentów, wywiad, objawy kliniczne i badania dodatkowe miały na celu wykluczenie możliwości zaburzeń krążenia w układzie naczyniowym kończyn dolnych.

1. **Badania ultrasonograficzne** – u wszystkich pacjentów wykonano badanie USG z wykorzystaniem efektu Dopplera z opcją Color Doppler oraz Power Doppler. Badania USG wykonano przy użyciu aparatu ACUSON 128 XP/10 i sond 3,5 MHz oraz 7 MHz. Pomiar wykonywano w pięciu punktach: tętnica biodrowa zewnętrzna, tętnica udowa wspólna, tętnica udowa powierzchowna w odcinku bliższym i dalszym oraz tętnica podkolanowa. Stan naczyń krwionośnych oraz szybkość przepływu krwi oceniano zgodnie z tabelą Cosmana i wsp. [23], przyjmując dla ułatwienia interpretacji i analizy matematycznej następujące oznaczenia: „0” przepływ prawidłowy, „1” zwężenie 0 ÷ 49%, „2” zwężenie 50 ÷ 75%, „3” zwężenie powyżej 75%.
2. **Zespół badań wstępnych** – wiek, płeć, wzrost, masa ciała, skurczowe i rozkurczowe ciśnienie tętnicze krwi.
3. **Wskaźnik kostkowo-ramienny** – dokonano określenia wskaźnika kostkowo-ramiennego. Pacjent pozostawał w spoczynku przez okres co najmniej 15 minut. Po upływie tego czasu dokonywano pomiaru ciśnienia tętniczego w pozycji siedzącej, na prawym ramieniu i w okolicach prawej kostki, a następnie na lewym ramieniu i w okolicach lewej kostki. Pomiar wykonywano kilkakrotnie w odstępach kilku minut i obliczano wartość średnią ciśnienia w każdym z badanych punktów.

Table 1. Results of the population and laboratory studies.**Tabela 1.** Wyniki badań podstawowych oraz badań ogólnych i biochemicznych krwi.

Parametr	Średnia	Odchylenie standardowe	Zakres	Norma
Wiek (lata)	35,30	6,04	25 ÷ 45	-
Waga (kg)	73,42	5,72	59 ÷ 81	-
Wzrost (cm)	174,76	5,38	163 ÷ 182	-
Ciśnienie krwi skurczowe (mmHg)	134,39	10,74	110 ÷ 160	do 85
Ciśnienie krwi rozkurczowe (mmHg)	90,15	8,88	70 ÷ 105	do 140
RBC (x10 ⁻⁶ ml)	4,22	0,43	3,33 ÷ 5,10	3,80 ÷ 6,00
HGB (g/dl)	15,57	1,01	13,80 ÷ 17,60	12,0 ÷ 18,0
HCT (%)	46,21	3,31	40 ÷ 51	36,0 ÷ 55,0
WBC (x10 ⁻³ ml)	5,94	1,03	4,40 ÷ 8,10	4,0 ÷ 10,0
GLU (mg/dl)	93,15	11,53	65 ÷ 110	4,10 ÷ 6,10
CHOL (mmol/l)	5,43	0,33	4,81 ÷ 6,01	3,60 ÷ 5,20
TG (mmol/l)	1,07	0,05	0,98 ÷ 1,16	0,46 ÷ 1,88
AspAT (U/l)	27,03	6,55	16 ÷ 38	1 ÷ 37
ALAT (U/L)	21,38	5,29	8 ÷ 34	1 ÷ 40

Table 2. Results of the Doppler USG and ankle-brachial studies.**Tabela 2.** USG Doppler oraz wskaźnik kostkowo-ramienny.

Badanie	Wartość średnia	Odchylenie stand.	Zakres
USG Doppler (wg. Tabeli Cosmana)	0	0	0
W _{kr} strona prawa	1,03	0,04	1,00 ÷ 1,08
W _{kr} strona lewa	1,03	0,04	1,00 ÷ 1,09

Opis skrótów zawartych w rycinach 1 i 2: WZLP – różnica perfuzji lewego podudzia między badaniem wysiłkowy a spoczynkowy; WZPP – różnica perfuzji prawego podudzia między badaniem wysiłkowy a spoczynkowy; WZLU – różnica perfuzji lewego uda między badaniem wysiłkowy a spoczynkowy; WZPU – różnica perfuzji prawego uda między badaniem wysiłkowy a spoczynkowy.

Wskaźnik kostkowo-ramienny (Wk-r) wyliczano z następującego wzoru:

$$W_{k-r} = \frac{\text{ciśnienie skurczowe mierzone w okolicy kostki}}{\text{ciśnienie skurczowe kończyny górnej}}$$

przyjmując za wartości prawidłowe wyniki mieszczące się w przedziale 0,9 ÷ 1,2 [28].

4. **Badania ogólne i biochemiczne krwi – morfologia krwi, glukoza, lipidogram,**

II. Badania radioizotopowe

Za pomocą gamma-kamery Elscint SP6 HR wyposażonej w kolimator HRES, wykonano badania w spoczynku i po wysiłku, w 5 min po iniekcji znacznika Tc^{99m}MIBI o aktywności 11,1 MBq /kg. W badaniu wysiłkowym znacznik podawano po uzyskaniu wysiłku submaksymalnego. Wysiłek przeprowadzono na cykloergometrze rowerowym z obciążeniem

narastającym co 3 min o 25 watów według fabrycznego protokołu producenta urządzenia. Dla określenia perfuzji mięśni kończyn dolnych użyto własnego sposobu akwizycji i przetwarzania uzyskanych danych. W projekcji tylnej, przy prędkości przesuwu poziomego głowicy 30 cm/min., wykonano akwizycję całego ciała. Akwizycję planarne ud i podudzi prowadzono przez okres 300 s. Wykonane akwizycje, po opracowaniu, pozwoliły na wyznaczenie współczynników symetrii perfuzji ud i podudzi: symetria perfuzji podudzi – WSP, symetria perfuzji ud – WPU, oraz wskaźników perfuzji mięśni kończyn dolnych – ud i podudzi osobno dla każdej kończyny: wskaźnik perfuzji lewego podudzia – WPLP, wskaźnik perfuzji prawego podudzia – WPPP, wskaźnik perfuzji lewego uda – WPLU, wskaźnik perfuzji prawego uda – WPPU.

W celu wyliczenia współczynników symetrii (WS) i wskaźników perfuzji (WP) posłużono się następującymi wzorami:

$$WS = \frac{ROI_{\min}}{ROI_{\max}} \times 100\%$$

Table 3. Results of the lower limb perfusion studies at rest.**Tabela 3.** Wyniki badań perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku.

	Wartość średnia	Odchylenie stand.	Zakres
Współczynnik symetrii podudzi (WSP) (%)	96,47	1,02	95,00 ÷ 98,87
Współczynnik symetrii ud (WSU) (%)	96,46	1,07	95,01 ÷ 98,76
Wskaźnik perfuzji lewego podudzia (WPLP)	9,77	0,32	9,11 ÷ 10,09
Wskaźnik perfuzji prawego podudzia (WPPP)	9,78	0,31	9,02 ÷ 10,09
Wskaźnik perfuzji lewego uda (WPLU)	8,45	0,22	8,01 ÷ 8,68
Wskaźnik perfuzji prawego uda (WPPU)	8,48	0,22	8,01 ÷ 8,69

Table 4. Results of the lower limb perfusion studies at stress.**Tabela 4.** Wyniki badań perfuzji mięśni kończyn dolnych w wysiłku.

	Wartość średnia	Odchylenie stand.	Zakres
Współczynnik symetrii podudzi (WSP) (%)	96,69	1,32	95,09 ÷ 99,95
Współczynnik symetrii ud (WSU) (%)	96,41	1,20	95,01 ÷ 99,90
Wskaźnik perfuzji lewego podudzia (WPLP)	8,78	0,26	8,24 ÷ 9,03
Wskaźnik perfuzji prawego podudzia (WPPP)	8,81	0,25	8,24 ÷ 9,03
Wskaźnik perfuzji lewego uda (WPLU)	7,77	0,25	7,29 ÷ 8,05
Wskaźnik perfuzji prawego uda (WPPU)	7,82	0,26	7,22 ÷ 8,03

gdzie:

ROI_{min} – zaznaczony obszar zainteresowania, w którym stwierdzono mniejszą liczbę zliczeń

ROI_{max} – lustrzany obszar zainteresowania, w którym stwierdzono większą liczbę zliczeń

$$WS = \frac{\text{gęstość zliczeń w wybranym ROI} - \text{gęstość zliczeń całego ciała}}{\text{gęstość zliczeń całego ciała}} \times 100$$

Gęstość zliczeń jest rozumiana jako ilość zliczeń przypadających na jeden pixel matrycy.

W raporcie index perfuzji jest zawsze liczbą powyżej jedności. Zmienia się natomiast oznaczenie stosunku symetrii – lewa do prawej lub odwrotnie w zależności po której stronie stwierdzono większą liczbę zliczeń w ROI.

W celu maksymalnego wyeliminowania ingerencji operatora w proces opracowywania badania, a tym samym uniknięcia niezamierzonych błędów, szereg procedur wykonywano w sposób automatyczny. Rola operatora ograniczona była w większości przypadków do potwierdzenia proponowanych przez program rozwiązań. Analizowano obszar mięśni ud, a następnie podudzi pod kątem wyznaczenia punktu maksymalnego gromadzenia aktywności. W tak wyznaczonym punkcie generowano krzywą profilu zmian aktywności. Na podstawie otrzymanych danych program ustalał poziom odcięcia tła ~20% poziomemu tłu od „góry” i ~10% poziomemu tłu od „dołu”. Po ustaleniu tych parametrów obrazu automatycznie generowano ROIe opisujące mięśnie podudzi i ud. Dzięki temu powierzchnia wybranych obszarów zainteresowania (ROI) jest powtarzalna.

W analizie ilości zliczeń zarówno z całego ciała jak i z wyznaczonych obszarów zainteresowania nie uwzględniono atenuacji. Budowa i oprogramowania gamma kamery, na której wykonywano badania nie posiada możliwości oceny tego parametru w badaniach planarnych. W celu oceny powtarzalności metody skonstruowano fantom, na którym wykonano opisane w metodyce badania. Znając aktywność w poszczególnych obszarach, dokonano obliczeń przy pomocy opracowanego programu. Wyliczenia były zgodne z przyjętymi założeniami. Natomiast powtarzalność programu sprawdzono poprzez wielokrotne opracowanie tego samego badania. Otrzymane wyniki różniły się między sobą zaledwie o tysięczne części wartości wyliczonych parametrów i świadczyły o poprawnym algorytmie opracowanego programu.

Metody statystyczne.

Wyliczono średnią, medianę oraz odchylenie standardowe.

Wyniki

Badania wykluczające możliwość zaburzeń w układzie krążenia kończyn dolnych.

Przedstawione w tabeli 1 badania laboratoryjne nie wykazały żadnych odchyżeń od stanu prawidłowego, mogących wpływać na stan układu krążenia.

Badanie USG Doppler kończyn dolnych w analizowanej grupie nie wykazało odchyżeń od stanu prawidłowego zgodnie z tabelą Cosmana i wsp. [24]. Nie stwierdzono zaburzeń w przepływie krwi w tętnicach: biodrowej

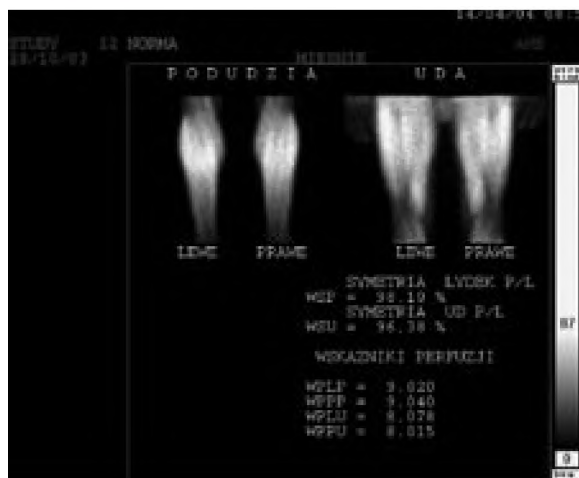


Figure 1. Normal result of the lower limb perfusion study at rest – report.

Rycina 1. Prawidłowy wynik radioizotopowego badania perfuzyjnego mięśni kończyn dolnych w spoczynku – raport.

zewnątrznej, udowej wspólnej, udowej powierzchniowej, oraz podkolanowej. Również wyniki wskaźnika kostkoworamiennego (W_{k+}) nie wykazały odchyżeń od normy.

Wyniki badań radioizotopowych.

Wyniki zaprezentowano w tabelach 3 i 4 oraz przedstawiono i na rycinach 1 i 2.

Dyskusja

Choroby tętnic kończyn dolnych są poważnym problemem medycznym, ekonomicznym, i socjalnym. Koszty powodowane przez te schorzenia (jeżeli pozostają nieleczone lub leczone nieprawidłowo) są bardzo wysokie [17,24,27].

W ostatnich latach obserwuje się postęp w badaniach nad etiologią i patogenezą zmian w tętnicach kończyn dolnych z następowym udoskonalaniem istniejących i poszukiwaniem nowych technik diagnostycznych. Te poczynania szczególnie dotyczą metod tanich i nieinwazyjnych [3,9,15,21,23,26,28,34,38,39,41].

W szczególności zwrócono uwagę na wczesne zmiany w śródbłonku naczyń włosowatych mięśni jako wskaźnika zmian zapoczątkowujących proces miażdżycowy [18]. Śródbłonek naczyniowy pełni istotną rolę w utrzymaniu hemostazy układu krążenia. Między



Figure 2. Normal result of the lower limb perfusion study at stress – report.

Rycina 2. Prawidłowy wynik radioizotopowego badania perfuzyjnego mięśni kończyn dolnych w wysiłku – raport.

innymi poprzez produkcję czynnika naczyniorozszerzającego ERDF reguluje spoczynkowy i wysiłkowy przepływ naczyniowy [15,16].

Zagadnieniem ukrwienia kończyn dolnych zajmowało się wielu badaczy [6,7,8,10,11,15,16,18,20,24,26,29,31,40]. Jednak okazuje się, że każda z nowo wprowadzonych metod zawiera w sobie niedoskonałości, niedogodności lub posiada ograniczenia [21,30]. I tak USG Doppler nie daje pełnego wglądu w system krążenia [3,11,19,20,28,29,32]. Klasyczna angiografia niesie ryzyko związane z podaniem kontrastu i narażeniem na promieniowanie jonizujące. Najnowsze metody angiograficzne: cyfrowa angiografia oraz angiografia rezonansu magnetycznego nie posiadają tych ograniczeń lecz niestety mówią niewiele na temat perfuzji tkankowej na obszarze zaopatrywania danego naczynia [1,33,36,43]. Żadna z tych metod nie odnosi się do ukrwienia kończyn dolnych w wysiłku i nie daje również możliwości porównania spoczynkowego i wysiłkowego przepływu naczyniowego.

Jedną z technik używanych w diagnostyce zaburzeń krążenia mięśni kończyn dolnych jest scyntygrafia perfuzyjna wykonywana za pomocą Talu 201 [14,21,36,42]. Metoda ta została rozwinięta i stosowana również za pomocą znacznie tańszego i łatwiejszego w pozyskaniu radiofarmaceutyku Tc^{99m} MIBI [2,7,10,11,14,20,25,35,37,38,41,44]. Powstało jednak niewiele prac dotyczących tego zagadnienia i oceny

Table 5. Changes in lower limb indexes between the rest and stress studies (in percentages).

Tabela 5. Zmiany procentowe wskaźnika perfuzji mięśni kończyn dolnych między badaniem spoczynkowym a po wysiłku.

	spoczynek	wysiłek	zmiana (%)
WPLP	9,77	8,78	10,13
WPPP	9,78	8,881	9,91
WPLU	8,45	7,77	8,04
WPPU	8,48	7,82	7,78

leczenia przewlekłych zaburzeń krążenia w mięśniach kończyn dolnych [9,10,13,21,24,34,37,44]. Niestety w pracach tych nie określono zakresu wartości prawidłowych perfuzji mięśni kończyn dolnych zarówno w spoczynku jak i wysiłku.

W naszych badaniach przyjęto gromadzenie znacznika przez mięśnie całego ciała w projekcji tylnej jako wartość referencyjną. W badaniach innych autorów jako punkt odniesienia przyjęto inne grupy mięśniowe np. grupę mięśni przedramienia. Sądzymy, że grupy mięśniowe zlokalizowane w tylnej części ciała są rozwinięte proporcjonalnie do mięśni kończyn dolnych, niezwykłe rzadko ulegając zmianom naczyniowym, stanowiąc najlepszą wartość referencyjną.

Uzyskane wyższe o ~10% wartości wskaźników perfuzji poszczególnych grup mięśniowych w badaniach wysiłkowych można tłumaczyć prawidłową reakcją śródbłonna na wysiłek [8,9,16]. W wyniku zwiększonej prędkości strumienia krwi oraz zwiększonego zapotrzebowania tlenowego w warunkach prawidłowych dochodzi bowiem do wyrzutu czynnika EDRF co skutkuje rozszerzeniem naczyń [6,7,42]. Również adenozyne jako czynnik rozszerzający naczynia w trakcie wysiłku ma swój udział w zwiększeniu wysiłkowego gromadzenia znacznika – perfuzji mięśni [4,5].

Wybór cykloergometru jako narzędzia stymulującego ma swoje uzasadnienie w równomiernym obciążeniu poszczególnych grup mięśniowych przy tego rodzaju wysiłku. Obciąża on prawie wyłącznie mięśnie kończyn dolnych, co powoduje że wskaźnik jakim jest akcja serca (wysiłek submaksymalny) wydaje się najbardziej odpowiadać równomiernemu obciążeniu wysiłkiem wszystkich uczestników badania.

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych i klinicznych, mieszczących się w granicach normy, możemy przyjąć iż badana grupa pacjentów nie miała zaburzeń krążenia. Tak więc uzyskane wyniki perfuzji mięśni kończyn dolnych dają podstawę do przyjęcia ich za wartości prawidłowe. W wyniku naszych badań za prawidłowe wskaźniki perfuzji mięśni podudzi (czyli normę) przyjęto wartości, nie większe niż wyliczone zgodnie ze wzorem:

$$WS \leq \frac{\text{średnia WPLP} + \text{średnia WPPP}}{2} + \frac{\text{odch. stand. LP} + \text{odch. stand. PP}}{2}$$

gdzie: WPP – wskaźnik perfuzji podudzi, WPLP – wskaźnik perfuzji lewego podudzia, WPPP – wskaźnik perfuzji prawego podudzia, LP – lewe podudzie, PP – prawe podudzie.

Prawidłowa wartość perfuzji mięśni podudzi wynosi nie więcej niż 10,09 w badaniu spoczynkowym oraz 9,02 w badaniu wysiłkowym.

Za prawidłowe wskaźniki perfuzji mięśni ud (czyli normę) przyjęto wartości, nie większe niż wyliczone zgodnie ze wzorem:

$$WPU \leq \frac{\text{średnia WPLU} + \text{średnia WPPU}}{2} + \frac{\text{odch. stand. LU} + \text{odch. stand. PU}}{2}$$

gdzie: WPU – wskaźnik perfuzji ud, WPLU – wskaźnik perfuzji lewego uda, WPPU – wskaźnik perfuzji prawego uda, LP – lewe udo, PU – prawe udo.

Prawidłowa wartość perfuzji mięśni ud wynosi nie więcej niż 8,69 w badaniu spoczynkowym oraz 8,04 w badaniu wysiłkowym. Uzyskane w badaniach wyniki, w których w spoczynku wskaźnik perfuzji mięśni podudzi nie przekracza 10,09 a mięśni ud 8,69 oraz w wysiłku wskaźnik perfuzji mięśni podudzi nie przekracza 9,02 i mięśni ud nie przekracza 8,04, uznano za prawidłowe.

Uzyskane wskaźniki umożliwiają zarówno identyfikację pacjentów z prawidłową perfuzją mięśni kończyn dolnych jak i diagnostykę zaburzeń tego krążenia.

Naszym zdaniem pozwala to na użycie opracowanych przez nas norm do oceny krążenia w mięśniach kończyn dolnych bez, potrzeby wykonywania innych, inwazyjnych lub traumatyzujących pacjenta badań. Normy wskaźników perfuzji w badaniach spoczynkowych i wysiłkowych stają się niezbędne zarówno wobec faktu różnorodnych patologii ukrwienia kończyn dolnych jak i coraz bardziej szczegółowych badań dotyczących mechanizmów działania niektórych leków na perfuzję mięśni (m.in. leków przeciwukrzycowych i naczyniowych).

Uzyskane wyniki ilościowej oceny perfuzji mięśni kończyn dolnych na podstawie własnego programu i metody, uprawniają do utworzenia bazy danych modelu prawidłowej perfuzji mięśni kończyn dolnych. Wykorzystanie tej metody niejednokrotnie pozwoli uniknąć innych traumatyzujących i narażających na znaczne dawki promieniowania rentgenowskiego badań naczyniowych. Wdrożenie tej metody pozwala na wykorzystanie jej zarówno w warunkach ambulatoryjnych jak i szpitalnych. Nieinwazyjna metoda izotopowa, oceniająca perfuzję mięśni kończyn dolnych, umożliwia monitorowanie leczenia poprzez porównanie wyników kolejnych badań perfuzyjnych mięśni kończyn dolnych.

Sądzymy, że metoda i jej ilościowe wartości prawidłowe mogą być użyteczne w diagnostyce u osób zdrowych (np. medycyna sportowa) jak i monitorowaniu zaburzeń ukrwienia kończyn dolnych zarówno w leczeniu farmakologicznym jak i chirurgicznym.

Wnioski

1. opracowany program i metoda pozwalają na półilościową ocenę perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i w wysiłku, w grupie pacjentów bez klinicznych cech upośledzonego krążenia,
2. ustalone wartości wskaźników prawidłowej perfuzji mięśni kończyn dolnych w spoczynku i wysiłku umożliwiają ich kliniczne zastosowanie w diagnozowaniu zaburzeń ukrwienia mięśni oraz monitorowaniu leczenia.

Piśmiennictwo:

- Ashleigh RJ, Hufton AP, Razzag R, MacDiarmid-Gordon L. A comparison of bolus chasing and static digital subtraction arteriography in peripheral vascular disease. *Br J Radiol* 2000 Aug; 73(872): 819-24.
- Bajnok L, Kozłowski B, Varga J, Antalffy J, Olvaszto S, Fulop. Technetium-99m sestamibi scintigraphy for the assessment of lower extremity ischaemia in peripheral arterial disease. *Eur J Nucl Med* 1994 Dec; 21(12): 1326-32.
- Barber FE, Baker DW, Strandness DE Jr. Duplex scanner II for simultaneous imaging of artery tissues and flow. In: Proceedings of Ultrasonics Symposium, IEEE, 1974. Publication No. 74CH0896-ISU.
- Beckman J.A., Creager M.A. i Libby P. Diabetes and atherosclerosis – epidemiology, pathophysiology, and management. *JAMA* 2002; 287: 2570.
- Beręsewicz A., Lewartowski B., Opolski G.: red.: Niewydolny śródbłonek naczyniowy. *Kardiologia Polska* Grudzień 2002, Tom 57, Suplement IV.
- Celen YZ, Zincirkeser S, Akdemir I, Yilmaz M. Investigation of perfusion reserve using 99Tc(m)-MIBI in the lower limbs of diabetic patients. *Nucl Med Commun* 2000 Sep; 21(9): 817-22.
- Cittanti C, Colamussi P, Giganti M, Orlandi C, Uccelli L, Manfrini S, Azzena G, Piffanelli A. Technetium-99m sestamibi leg scintigraphy for non-invasive assessment of propionyl-L-carnitine induced changes in skeletal muscle metabolism. *Eur J Nucl Med* 1997 Jul; 24(7): 762-6.
- Conerota AJ, i wsp.: Air pletysmography: a clinical review. *Ind. Angiol.*, 1995, 14, 45 9.
- Cronenwett JL, Warner KG, Zelenock GB, Whitehouse WM Jr, Graham LM, Lindenauer M, Stanley JC. Intermittent claudication: current results of nonoperative management. *Arch Surg.* 1984; 119: 430-436.
- Dąbrowski A, Górski A, Mikosiński J, Szucs-Głuszcak I, Bieńkiewicz M, Kuśmierk J: Przydatność scyntygrafii perfuzyjnej kończyn dolnych wykonanej przy użyciu kompleksu 99mTc MIBI do oceny wyników leczenia miażdżycy zarostowej. *Problemy Medycyny Nuklearnej* 1996 T10 s. 84.
- Dąbrowski J, Górski A, Mikosiński J, Joss A, Brykalski D: Zastosowanie scyntygrafii perfuzyjnej z użyciem 99mTc MIBI do oceny wyników leczenia przewlekłego niedokrwienia tętniczego kończyn dolnych. *Acta Angiol.*, 1996, 2, 4: 249-254.
- DePalma RG. Patterns of peripheral atherosclerosis: implications for treatment. In: Shepherd JT, Morgan HG, Packard CJ, Brownlie SM, eds. *Atherosclerosis: Developments, Complications and Treatment: Proceedings of the International Symposium*, Gleneagles Hotel, Perthshire, Scotland, April 23-26, 1987. New York, NY: Elsevier Science Publishing Co; 1987: 161-174.
- Dormandy J. Peripheral vascular disease. *Med North Am.* 1994; 353-360.
- Dziuk M, Cholewa M: Scyntygrafia perfuzyjna w ocenie żywotności mięśnia sercowego ze szczególnym uwzględnieniem redystrybucji talu-201. *Lek. Wojsk.*, 2000, 76(1), 5-9.
- Edwards PD, Miles KA, Owens SJ, Kemp PM, Jenner JR. A new non-invasive test for the detection of compartment syndromes. *Nucl Med Commun* 1999 Mar; 20(3): 215-8.
- Harrison DK, Voss C, Vollmar HS, Koutsiaris AG, Newton DJ. Response of muscle oxygen saturation to exercise, measured with near infrared spectrophotometry in patients with peripheral vascular disease. *Adv Exp Med Biol* 1998; 454: 45-52.
- Imparato AM, Kim GE, Davidson T, Crowley JG. Intermittent claudication: its natural course. *Surgery.* 1975; 78: 795-799.
- Jager KA, Phillips DJ, Martin RL, Hanson C, Roederer GO, Langlois YE, Ricketts HJ, Strandness DE Jr. Noninvasive mapping of lower limb arterial lesions. *Ultrasound Med Biol.* 1985; 11: 515-521.
- Kingwell BA, Formosa M, Muhlmann M, Bradley SJ, McConell GK. Type 2 diabetic individuals have impaired leg blood flow responses to exercise: role of endothelium-dependent vasodilation. *Diabetes Care.* 2003 Mar; 26(3): 899-904.
- Kohler TR, Andros G, Porter JM, Clowes A, Goldstone J, Johansen K, Raker E, Nance DR, Strandness DE Jr. Can duplex scanning replace arteriography for lower extremity arterial disease? *Ann Vasc Surg.* 1990; 4: 280-287.
- Królicki L. Radioizotopowa diagnostyka chorób naczyń. W: *Chirurgia tętnic i żył obwodowych* (red. W. Noszczyk) Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 1998, 162-173.
- Lin WY, Kao CH, Hsu CY, Liao SO, Wang SJ, Yeh SH. Evaluation of tissue perfusion by the Xe-133 washout method in lower limbs of patients with noninsulin-dependent diabetes mellitus. *Clin Nucl Med.* 1995 May; 20(5): 449-52.
- Lindbom A. Arteriosclerosis and arterial thrombosis in the lower limb: a roentgenological study. *Acta Radiol Scand.* 1950; 80 (suppl): 38-48.
- Małek G. i wsp. Ultrasonografia Dopplerowska zastosowanie kliniczne t. II W-wa 2003.
- Miles KA, Barber RW, Wraight EP, Cooper M, Appleton DS. Leg muscle scintigraphy with 99TcM-MIBI in the assessment of peripheral vascular (arterial) disease. *Nucl Med Commun* 1992 Aug; 13(8): 593-603.
- Moneta GL, i wsp.: Accuracy of lower extremity arterial duplex mapping. *J Vasc. Surg.*, 1992, 15, 275.
- Noszczyk W, Wiechowski S.: Założenia, cele i metody badań nad wynikami leczenia miażdżycowego niedokrwienia kończyn dolnych. *Pol. Tyg. Lek.*, 1987, 12-13, 347.
- Pellerito JS. Badania ultrasonograficzne w chorobach tętnic obwodowych – stan na 1998 rok. *Med. Prakt.*, 2000, I, 5.
- Phillips DJ, Powers JE, Eyer MK, Blackshear WM Jr, Bodily KC, Strandness DE Jr, Baker DW. Detection of peripheral vascular disease using the Duplex Scanner III. *Ultrasound Med Biol.* 1980; 6: 205-218.
- Polak JF. Peripheral arterial disease: evaluation with colorflow and duplex sonography. *Radiol. Clin. North Am.*, 1995, 33, 71.
- Powers KB, Vacek JL, Lee S. Noninvasive approaches to peripheral vascular disease. What's new in evaluation and treatment? *Postgrad Med* 1999 Sep; 106(3): 52-8, 62-64.
- Resnick HE, Lindsay RS, McDermantt MM, Devereux RB, Jones KL, Fabsitz RR, Howard BV. Relationship of high and low ankle brachial index to all-cause and cardiovascular disease mortality: the Strong Heart Study. *MedStar Research Institute, Hyattsville, Md 20873 USA.*
- Rofsky NM, Adelman MA. MR angiography in the evaluation of atherosclerotic peripheral vascular disease. *Radiology* 2000 Feb; 214(2): 325-38.
- Sacks D, i wsp.: Peripheral arterial Doppler ultrasonography; diagnostic criteria. *J. Ultrasound Med.*, 1992, 11, 95.
- Sayman HB, Urgancioglu I. Muscle perfusion with technetium-MIBI in lower extremity peripheral arterial diseases. *J Nucl Med.* 1991 Sep; 32(9): 1700-3.
- Segall GM, Lang EV, Lennon SE, Stevick CD. Functional imaging of peripheral vascular disease: a comparison between exercise whole-body thallium perfusion imaging and contrast arteriography. *J Nucl Med* 1992 Oct; 33(10): 1797-800.
- Segall GM. Use of technetium-99m-MIBI in peripheral vascular disease. *J Nucl Med* 1992 Apr; 33(4): 629.
- Strandness DE Jr, Bell JW. Peripheral vascular disease: diagnosis and objective evaluation using a mercury strain gauge. *Ann Surg.* 1965; 161 (suppl): 1-35.
- Strandness DE Jr. Peripheral arterial system. In: *Duplex Scanning in Vascular Disorders*. 2nd ed. New York, NY: Raven Press; 1993: 159-195.
- Sumner DS, Strandness DE Jr. The relationship between calf blood flow and ankle blood pressure in patients with intermittent claudication. *Surgery.* 1969; 65: 763-771.
- Tallaj JA, Iskandrian AE. Extracardiac localization of technetium 99m sestamibi. *J Nucl Cardiol* 2000 May-Jun; 7(3): 289-90.
- Tellier F, Lecouffe P, Vasseur C. Whole-body exercise thallium imaging in smokers. *Vasc Med* 1998; 3(1): 15-20.
- Walecki J. Badania angiograficzne. W: *Chirurgia tętnic i żył obwodowych* (red. W. Noszczyk) Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 1998, 147.
- Wann LS, Hellman C, Dorros G. Evaluation of leg perfusion during exercise using technetium 99m sestamibi. A new test for peripheral vascular disease. *Echocardiography* 1992 Sep; 9(5): 547-52.