

ALEKSANDRA BITENC- JASIEJKO

## ZASTOSOWANIE PEDOBAROGRAFII ORAZ TECHNOLOGII CNC W PROCESIE PROJEKTOWANIA INDYWIDUALNEGO ZAOPATRZENIA ORTOPEDYCZNEGO U PACJENTÓW Z NEUROOSTEOARTROPATIA CHARCOTA – DIAGNOSTYKA, PROJEKTOWANIE I WYKONANIE

THE USE PEDOBAROGRAPHY AND TECHNOLOGY OF CNC IN THE PROCESS OF DESIGNING INDIVIDUAL ORTHOPEDIC SUPPLY FOR PATIENTS WITH CHARCOT NEUROOSTEOARTROPATHY

ORCID: 0000-0002-3720-0300

**STRESZCZENIE:** Ze względu na wzrost zachorowań na cukrzycę na całym świecie, rośnie również częstość występowania artropatii Charcota. Terapia tego schorzenia w większości przypadków rozpoczyna się, kiedy zmiana jest co najmniej w początkowej fazie rozwoju, charakteryzującej się: mikrozlamaniami, fragmentacją kości oraz podwichnięciami, osteoporozą, osteolizą itp. Zmiany te wykrywane są za pomocą badania obrazowego (RTG/MRI) i na tym etapie podejmowane są działania ukierunkowane na ich leczenie, zwykle za pomocą gipsowania lub innego zaopatrzenia ortopedycznego (stabilizujące obuwie ortopedyczne, stabilizatory). Często jednak konieczne jest postępowanie operacyjne. W profilaktyce neuroosteoartropatii Charcota najistotniejsze znaczenie ma prewencyjna diagnostyka przesiewowa u pacjentów z grupy ryzyka, która będzie sprzyjać ocenie wad stóp, zaburzeń osiowości kończyn dolnych oraz determinant chodu. Istotną kwestią jest ocena dystrybucji nacisku podczas chodu, z uwzględnieniem czasu kontaktu oraz płaszczyzny przyłożenia. Istotne jest również wykrywanie wadliwej migracji nacisków. Prowadzone badania sprzyjają wczesnemu wykrywaniu zmian w morfologii stopy przez wszystkich członków zespołu interdyscyplinarnego, dlatego też nie mogą być wyskospecjalistyczne oraz muszą być ekonomiczne. Kolejno podejmowane działania powinny być ukierunkowane na prewencję zapobiegającą zniekształcaniu stóp, a w konsekwencji degradacji tkanek. W niniejszym opracowaniu zaprezentowano diagnostyczną procedurę przesiewową oraz wskazano istotne parametry stopy oraz chodu. Wskazano również rozwiązania ortopedyczne mające zastosowanie w profilaktyce powstawania zmian sprzyjających degradacji tkanek, projektowane na podstawie badań podczas stania oraz podczas chodu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** indywidualna wkładka ortopedyczna, neuroosteoartropatia Charcota, obuwie personalizowane, owrzodzenia, pedobarografia, zespół stopy cukrzycowej

**ABSTRACT:** Due to the increase in the incidence of diabetes worldwide, the incidence of Charcot arthropathy is also increasing. In most cases, the therapy procedure begins when the lesion is at least in the early stages of development, characterized by micro fractures, bone fragmentation and subluxations, osteoporosis, osteolysis, etc. These changes are detected by means of imaging (RTG/MRI) and at this stage, actions are taken to treat these changes, usually by plastering or other rather outdated orthopaedic equipment, i.e. stabilizing orthopaedic footwear, stabilizers. However, operational procedure is not uncommon. In the prevention of Charcot's neuroosteoarthropathy, the most important is preventative screening diagnostics existing in patients at risk, which will contribute to the assessment of foot defects, disturbances in the alignment of the lower limbs and gait determinants. An important issue is the assessment of pressure distribution during walking, including contact time and the application plane. Detecting faulty pressure migration is also important. Conducted research is to support early detection of changes in foot morphology by all members of the interdisciplinary team, therefore the applied research must be not highly specialized and economical. Subsequent actions should

„Spondylus” Przychodnia NZOZ w Szczecinie,  
al. Papieża Jana Pawła II 39, 70-413 Szczecin,  
e-mail: abj@spondylus.pl

Wpłynęło: 22.09.2019

Zaakceptowano: 30.10.2019

DOI: dx.doi.org/10.15374/LR2019014

be focused on preventive measures to prevent foot deformation and, as a consequence, tissue degradation. This study presents a case study showing the diagnostic screening procedure, along with an indication of relevant foot and gait parameters. Orthopaedic solutions applicable in the prevention of the formation of changes favoring tissue degradation were also indicated, which are designed after a standing and walking test.

**KEY WORDS:** amiopathy, Charcot neuroosteoarthropathy, diabetic foot syndrome, individual orthopaedic insole, neuropathy, pedobarography, personalized footwear, ulcers

## WSTĘP

Istotę zbyt późnego wykrywania neuroosteoartropatii Charcota wielokrotnie wskazywano w pracach naukowo-badawczych, podkreślając, iż diagnozowanie na poziomie badań obrazowych nie pozwala na kontrolę postępu choroby, głównie ze względu na inwazyjność samych badań oraz ich ekonomię. Proponowano w tym obszarze inne badania pomijające powyższe ograniczenia (jak np. badanie histopatologiczne) oraz zwracano uwagę na konieczność wdrożenia procedur znacznie szybszego wykrywania. Czynniki te wpływają zarówno na pomyślne rokowanie w procesie zahamowania postępów choroby, jak i na skuteczności terapii [12, 18].

Pierwszymi objawami zmian przeciążeniowych w obrębie stóp są odciski, modzele i inne zmiany hiperkeratotyczne, które w konsekwencji prowadzą do powstawania ran w części podszwowej [2, 23]. Ważnym aspektem profilaktyki jest usuwanie zmian przeciążeniowych przez podiatrę lub podologa. Do obowiązków zespołu interdyscyplinarnego należy rozpoznawanie głównych przyczyn problemu i edukacja oraz odpowiednie kierowanie procedurą diagnostyczną i terapeutyczną [9].

Wady stóp oraz zaburzenia chodu są istotną determinantą wadliwej migracji nacisku w obrębie stóp. Zaburzenia

osiowości kończyn dolnych sprzyjają degradacji tkanek w przebiegu neuropatii, polineuropatii oraz zmian degeneracyjnych struktur, powstających w przebiegu cukrzycy. W profilaktyce neuroosteoartropatii Charcota wskazuje się, że zmiany są odwracalne pod względem zniekształceń, które wystąpiły we wczesnym stadium zapalenia. Trwała degradacja struktur stopy jest spowodowana przewlekłym zapaleniem, nierzadko wielostawowym [10].

Najistotniejszą kwestią w profilaktyce ran przewlekłych oraz degradacji tkanek w przebiegu neuropatii, zaburzeń krążenia, a także cukrzycy, prowadzących do neuroosteoartropatii Charcota, jest konieczność usystematyzowania procedur diagnostycznych oraz projektowania i zastosowania indywidualnego zaopatrzenia ortopedycznego u pacjentów z pierwszymi objawami choroby. Czynności te, ze względu na różnice w kompetencjach członków zespołu interdyscyplinarnego, nie w pełnym w zakresie powinny być wysoce specjalistyczne (tj. lekarskie). Mogą być bowiem realizowane przez specjalistów leczenia ran, w tym pielęgniarki oraz techników ortopedów. Jednocześnie powinny pozwolić na wczesne wykrywanie zaburzeń oraz uwzględnić indywidualne projektowanie elementów korekcyjnych i odciążających, w oparciu o szczegółową ocenę stóp podczas stania oraz chodu [3].

Tabela 1. Charakterystyka pacjentów z neuroosteoartropatią Charcota.

	Pacjent I	Pacjent II	Pacjent III	Pacjent IV	Pacjent V
Neuroosteoartropatia Charcota	Stopa prawa	Stopa lewa	Stopa lewa	Obie stopy	Obie stopy
Ciepłota miejscowa	Tak	Nie	Nie	–	–
Obrzęk	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak – asymetrycznie (stopa prawa ze znacznie większym obrzękiem)
Owrzodzenie	Nie	Tak – stopa prawa w śródstopiu	Tak – stopa prawa (na pięcie)	Tak – tylko stopa lewa	Tak – tylko stopa prawa
Wady – ocena podoskopowa	Obniżenie sklepienia stopy Szpotawość stępu i kolan Obniżenie sklepienia stopy Palce szponiaste/młotkowate	Obniżenie sklepienia stopy Koślawość stępu, szpotawość kolan Palce szponiaste, młotkowate	Obniżone sklepienie stopy Koślawość stępu Szpotawość kolan Znaczna koślawość paluchów Palce młotkowate	Obie stopy znacznie zdeformowane, łuki stopy obniżone, palce młotkowate	Stopy asymetrycznie zdeformowane Znacznie obniżone sklepienie w obu stopach – z tym, że w stopie lewej zaobserwowano istnienie sklepienia Palce młotkowate Skrócenie kończyny prawej
Deformacje w obrębie stopy bez diagnozy w obrębie osteoartropatii Charcota	Wysokie sklepienie stopy Szpotawość stępu i kolan	Wysokie sklepienie stopy Szpotawość stępu i kolan	Wysokie sklepienie stopy Szpotawość stępu i kolan	Nie dotyczy	Nie dotyczy

W diagnostyce należy uwzględnić następujące aspekty:

- zmiana ciepłoty ciała, zaczerwienienie, obrzęk, skórne zmiany przeciążeniowe;
- wstępna ocena wad stóp, tj. np.: koślawość/szpotawość stępu, wysokość sklepienia, deformacje palców (palce młotkowate, szponiaste, paluchy koślawe i szpotawe);
- rzetelna ocena dystrybucji nacisku w warunkach statycznych;
- ocena progresji stopy;
- zaburzenia determinant chodu w ujęciu wadliwej dystrybucji nacisku, w tym w szczególności związku wzmożonego nacisku w wydłużonym czasie kontaktu stopy z podłożem [8, 13, 16].

Badaniem pozwalającym na ocenę statyczną oraz jakości chodu, a także ocenę wadliwej dystrybucji nacisku na stopy, jest pedobarografia, która znalazła szerokie zastosowanie w działaniach prewencyjnych zespołu stopy cukrzycowej (ZSC) [4]. Analiza dystrybucji nacisku nie tylko ma znaczenie w postępowaniu prewencyjnym i przesiewowym, lecz także stanowi istotny aspekt w planowaniu procedur odcciążających (w tym zaopatrzenia ortopedycznego) [17]. Badania dystrybucji nacisku, szczególnie w ujęciu chodu, powinny być wyznacznikiem projektowania indywidualnego zaopatrzenia w indywidualne wkładki ortopedyczne oraz obuwie indywidualne [5, 19]. Jednym z najistotniejszych problemów pacjentów z neuroosteopatią Charcota jest brak zdolności do odcciążania stóp oraz ich autokorekty podczas chodu (supinacji/pronacji) [22].

W szczególności w przypadku działań ukierunkowanych na profilaktykę mikrozłamań, uszkodzeń struktur więzadłowych, atrofii mięśni, do jakich dochodzi w przebiegu neuropatii czuciowej, konieczne jest wdrożenie celowanych działań rehabilitacyjnych oraz stosownego zaopatrzenia odcciążającego/korekcyjnego [14]. W zaopatrzeniu tym należy uwzględnić przede wszystkim istotne parametry wykazujące dysfunkcję stóp, zaburzenia chodu oraz istniejące wady i deformacje [1, 11, 21].

Celem niniejszej pracy było wskazanie działań prewencyjnych, tj. metod diagnostycznych służących profilaktyce deformacji Charcota, które mogą być zastosowane przez wszystkich członków interdyscyplinarnego zespołu współpracującego w opiece nad pacjentem. Zaproponowano

rozwiązania dotyczące zaopatrzenia ortopedycznego, przeciwdziałające degradacji tkanek w przebiegu neuropatii, miopatii lub osteopatii, z wykorzystaniem precyzyjnych technologii projektowania elementów odcciążających oraz korekcyjnych i zastosowania technologii CNC (ang. computerized numerical control) w ich produkcji.

## MATERIAŁ I METODY

### MATERIAŁ

Do badań zakwalifikowano pięciu pacjentów:

- u trzech pacjentów neuroosteopatia Charcota dotyczyła jednej stopy (chorzy I–III);
- u dwóch pacjentów występowała symetryczna (dwukończynowa) neuroosteopatia Charcota. U jednego z chorych na obydwu stopach występowały objawy chorobowe (pacjent IV), natomiast u drugiego zmiana była nieznaczna, nadal widoczne było sklepienie stopy i jej obrys (pacjent V).

W Tabeli 1 oraz na Ryc. 1–5 zaprezentowano wyniki badania przedmiotowego pacjentów.

### METODOLOGIA BADAŃ

W badaniu zastosowano następujące metody:

- badanie fizykalne, w tym badanie podoskopowe oraz skaning stóp służący pomiarom antropometrii stóp, testy funkcjonalne – test Jacka (funkcjonalność sklepienia);
- pedobarografię:
  - podczas stania – badanie 20 sekund/czas jednej próbki 1 ms ?????,
  - podczas chodu – wynik analiz przetaczania śladów stóp.

Uzyskano następujące parametry: pomiar siły nacisku (wartości średnie i maksymalne), płaszczyzny przyłożenia, ciśnienia, ocena progresji stopy i równowagi, sklepienia stopy, rozkład nacisku na poszczególne sektory stopy według modelu Cavanagha.



Ryc. 1. Pacjent I – stopa Charcota.



Ryc. 2. Pacjent II – stopa Charcota.



Ryc. 3. Pacjent III – stopa Charcota.



Ryc. 4. Pacjent IV – obydwie stopy zmienione chorobowo.

## WYNIKI

Ocena deformacji i wad stóp wykazała, że u wszystkich pacjentów dotkniętych osteoartropatią Charcota obserwowano:

- obniżenie sklepienia stopy ze znacznym zwiększeniem obrysu stopy w części przyśrodkowej – test Jacka wykazał niewydolność sklepienia stopy u wszystkich chorych z osteoartropatią Charcota;
- palce zdeformowane, u jednego badanego paluch koślawy, ze współistnieniem cech płasko-koślawości stopy;
- zaburzenia osiowości kolan w ujęciu szpotawości/koślawości;
- zaburzenia osiowości stępu w ujęciu szpotawości/koślawości.

Na uwagę zasługuje fakt, iż u pacjentów, u których nie zdiagnozowano neuroosteoartropatii Charcota, obserwowano wysokie wysklepienie stóp. To istotny fakt, stanowiący postulat do dalszych badań.

Wyniki badania przedmiotowego pozwoliły na określenie celów diagnostycznych za pomocą pedobarografii (ocena statyczna oraz chodu), z zastosowaniem oprogramowania BIOMECH Studio:

- ogólna charakterystyka stóp (Ryc. 6, 7);
- ocena sklepienia stóp podczas stania (Ryc. 8) i podczas chodu (Ryc. 9–11) (wskaźnik Arch Index – AI) [6];
- ocena progresji (przetaczania) stopy (Ryc. 12 i 13);
- ocena dystrybucji nacisków podczas stania (Tabela 2);
- wartości nacisku zestawiono w Tabeli 3;
- ocena dystrybucji nacisków w ocenie chodu (Ryc. 14, 15).

## WYNIKI OGÓLNEJ CHARAKTERYSTYKI STÓP

Ogólną charakterystykę stóp (Ryc. 6 – pacjenci z jedną stopą objętą procesem chorobowym oraz Ryc. 7 – pacjenci z dwoma stopami Charcota) zestawiono tabelarycznie (Tabela 2 i 3).

Ogólna charakterystyka pacjentów, u których zespół Charcota obejmował jedną stopę, wykazała, że występował u nich większy nacisk (zarówno średni, jak i maksymalny) na stopę bez zdiagnozowanej osteoartropatii Charcota. Pacjent V prezentował tę samą tendencję, gdyż odciążał stopę zmienioną chorobowo. U chorego IV, w przypadku którego neuroosteoartropatia dotyczyła obydwu kończyn, powyższe mechanizmy kompensacyjne nie miały miejsca.

## WYNIK BADANIA SKLEPIENIA STÓP PODCZAS STANIA ORAZ PODCZAS CHODU

Ocena powierzchni przyłożenia stopy dowiodła, iż stopy zajęte chorobowo mają mniejszą płaszczyznę przyłożenia. Wstępny obraz w ocenie przedmiotowej wykazał, iż stopy bez zdiagnozowanej neuroosteoartropatii Charcota posiadają cechę stopy wydrążonej. Potwierdza to wynik analizy statycznej pedobarografii, tj. znaczne obniżenie wskaźnika AI

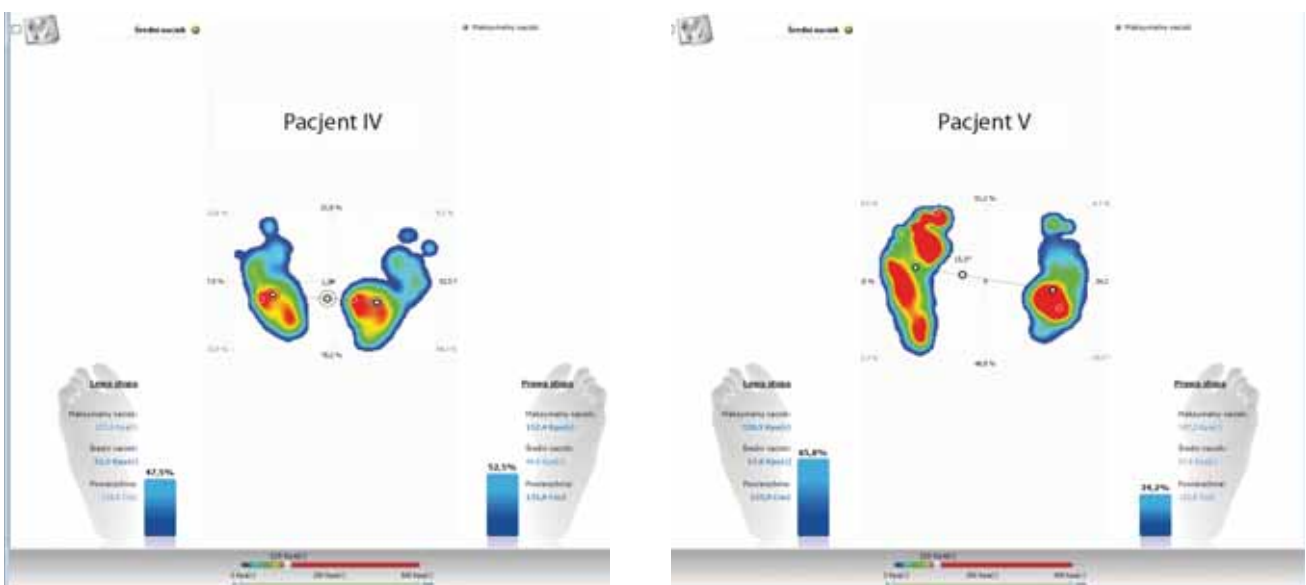




Ryc. 5. Pacjent V – obydwie stopy zmienione chorobowo.



Ryc. 6. Ogólna charakterystyka śladów stóp – analiza statyczna – pacjenci z jedną stopą Charcota.



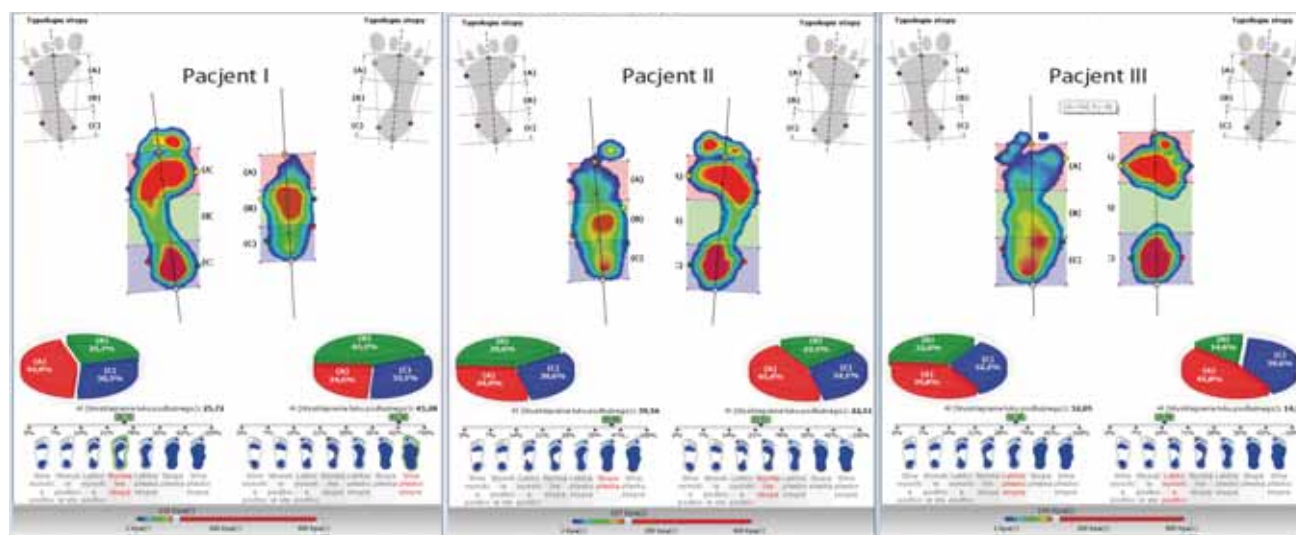
Ryc. 7. Ogólna charakterystyka śladów stóp – analiza statyczna – pacjenci z dwiema stopami Charcota.

Tabela 2. Dystrybucja nacisku na poszczególne sektory stopy według modelu Cavanagha.

Pacjenci z jedną stopą Charcota													
Pacjent I													
Stopa lewa							Stopa prawa – stopa Charcota						
Obszar	Powierzchnia (cm <sup>2</sup> )	%	Siła (kgf)	%	Nacisk masy (kPa(r))	Nacisk średni (kPa(r))	Powierzchnia (cm <sup>2</sup> )	%	Siła (kgf)	%	Nacisk masy (kPa(r))	Nacisk średni (kPa(r))	
T1	12,8	6,4	7,8	6,1	164	60	0	0	0	0	0	0	
T2, 3, 4, 5	15,9	7,9	6,9	5,4	129	43	0	0	0	0	0	0	
M1	20,9	10,4	12,5	9,8	145	59	2,9	2,6	0,6	1	77	21	
M2	12,8	6,4	12,4	9,7	144	95	4,8	4,4	1,6	2,7	115	33	
M3	12,8	6,4	12,8	10	145	98	6,3	5,6	2,1	3,6	106	33	
M4	12,8	6,4	11,8	9,3	145	91	7,2	6,4	2,2	3,6	96	30	
M5	15,5	7,7	6,6	5,2	130	42	6,1	5,5	1	1,7	68	16	
MF	44,5	22,2	19,1	14,9	115	42	48,2	43,3	38	63,5	170	77	
MH	25,6	12,8	17,8	13,9	179	68	19,3	17,4	7,7	12,9	79	39	
LH	26,7	13,3	20	15,7	185	74	16,5	14,8	6,6	11	78	39	
Analizy	200,3	99,9	12,77	100	148,1	67,2	111,3	100	5,98	100	78,9	28,8	
Pacjent II													
Stopa lewa – stopa Charcota							Stopa prawa						
T1	12	7,3	4,3	4,4	125	35	13,8	7	11,7	6,8	285	83	
T2, 3, 4, 5	4,3	2,6	0,3	0,3	20	7	17,6	9	10,8	6,3	193	60	
M1	9,4	5,7	1,7	1,7	44	17	18	9,2	10,4	6	157	56	
M2	7,8	4,7	2,7	2,7	56	34	11	5,7	12,1	7	224	107	
M3	8,4	5,1	3,6	3,7	66	42	12,8	6,6	18,3	10,6	250	140	
M4	8,4	5,1	3,7	3,8	67	43	13,3	6,8	22,6	13,2	249	167	
M5	10,2	6,2	2,1	2,2	50	20	19,4	9,9	15,9	9,3	240	81	
MF	59,2	35,8	46,9	48,2	193	78	36,6	18,8	16,5	9,6	154	44	
MH	25,1	15,2	19	19,5	152	74	27,7	14,2	29,9	17,4	236	106	
LH	20,3	12,3	13,1	13,4	145	63	25,1	12,8	23,5	13,7	232	92	
Analizy	165,1	100	9,74	99,9	91,8	41,3	195,3	100	17,17	99,9	222	93,6	
Pacjent III													
Stopa lewa – stopa Charcota							Stopa prawa						
T1	1,7	0,8	0,1	0,1	6	4	0	0	0	0	0	0	
T2, 3, 4, 5	5,9	2,7	0,8	0,7	32	13	0	0	0	0	0	0	
M1	21,3	9,8	4,1	3,6	46	19	16,6	10,2	13,2	8,9	217	78	
M2	11,8	5,4	3,1	2,7	41	26	11,2	6,9	13	8,7	185	114	
M3	11,9	5,5	3,3	2,9	56	27	16,2	9,9	19,3	13	189	117	
M4	13,6	6,3	3,7	3,3	56	27	14	8,6	17,4	11,7	215	122	
M5	16,3	7,5	3,1	2,8	47	19	16,6	10,2	8,9	6	152	52	
MF	67	30,9	42,1	36,9	139	62	22,9	14,1	9,7	6,5	162	41	
MH	31,1	14,3	25	21,9	140	79	33	20,3	36,1	24,2	253	107	
LH	36,3	16,7	29	25,4	141	78	32	19,7	31,3	21	249	96	
Analizy	216,9	99,9	11,43	100,3	70,4	35,4	162,5	99,9	14,89	100	162,2	72,7	

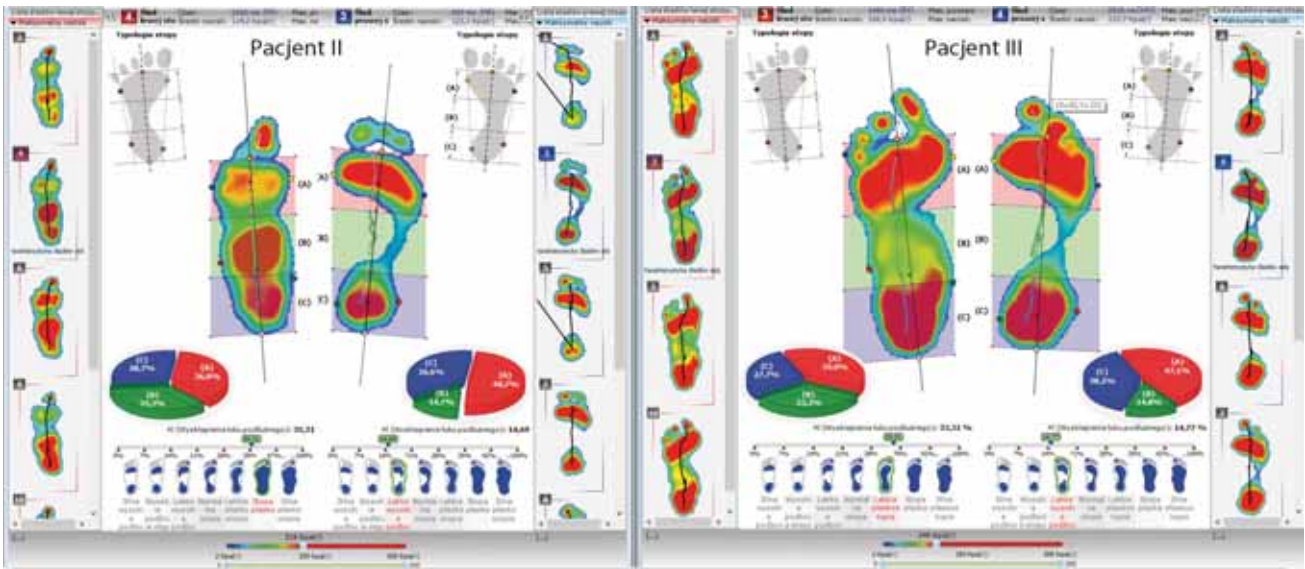
Tabela 2 cd. Dystrybucja nacisku na poszczególne sektory stopy według modelu Cavanagha.

Pacjenci z dwiema stopami Charcota												
Pacjent IV												
Stopa lewa – stopa Charcota							Stopa prawa – stopa Charcota					
Obszar	Powierzchnia (cm <sup>2</sup> )	%	Siła (kgf)	%	Nacisk masy (kPa(r))	Nacisk średni (kPa(r))	Powierzchnia (cm <sup>2</sup> )	%	Siła (kgf)	%	Nacisk masy (kPa(r))	Nacisk średni (kPa(r))
T1	6	3,8	1,2	1,4	42	19	9,2	5	1,1	1,1	33	12
T2, 3, 4, 5	3	1,9	0,3	0,4	29	11	8,2	4,5	1,1	1,1	44	14
M1	14,8	9,4	3,1	3,8	42	21	15,9	8,6	4,3	4,2	58	26
M2	8,6	5,4	2,3	2,8	39	26	9,3	5	3,3	3,3	54	35
M3	7	4,4	2,4	2,9	55	34	9,6	5,2	3,4	3,4	51	34
M4	7,7	4,9	3,9	4,7	85	50	9,1	4,9	3,5	3,5	58	38
M5	10,1	6,4	2,8	3,3	86	27	12,8	6,9	3,6	3,6	59	28
MF	55,4	35	35,8	42,9	137	63	61,5	33,3	43,6	43,2	168	69
MH	27	17	20,1	24,1	138	73	17,6	9,5	13,7	13,6	170	77
LH	18,8	11,9	11,5	13,7	120	60	31,6	17,1	23,2	23	127	72
Analizy	158,4	100,1	8,34	100	77,3	38,4	184,8	100	10,08	100	82,2	40,5
Pacjent V												
Stopa lewa – stopa Charcota							Stopa prawa – stopa Charcota					
T1	18,6	8,6	19,4	10,8	345	102	0	0	0	0	0	0
T2, 3, 4, 5	14,2	6,6	10,3	5,8	173	71	0	0	0	0	0	0
M1	21,2	9,8	17,7	9,9	183	82	17,7	10,9	3,3	5,5	61	18
M2	13	6	17,9	10	184	135	9	5,5	1,3	2,3	36	15
M3	13	6	12,9	7,2	167	98	7,7	4,7	1	1,8	33	13
M4	12,3	5,7	9,9	5,6	134	79	4,5	2,8	0,5	0,9	22	11
M5	16,8	7,8	9,3	5,2	135	54	1,6	1	0,1	0,2	18	7
MF	61,6	28,5	48,7	27,2	153	78	66,9	41,4	26,3	44,3	108	39
MH	28	12,9	23,5	13,1	178	82	28,1	17,4	13,5	22,8	111	47
LH	17,6	8,1	9,5	5,3	132	53	26,3	16,3	13,2	22,2	113	49
Analizy	216,3	100	17,91	100,1	178,4	83,4	161,8	100	5,92	100	50,2	19,9

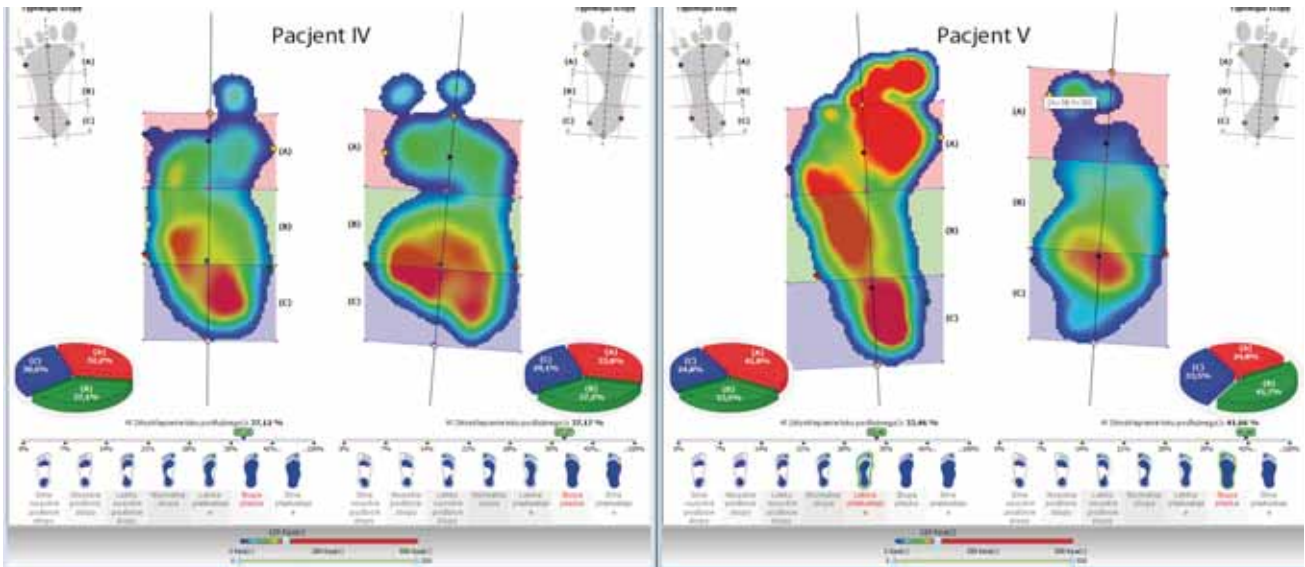


Ryc. 8. Ocena sklepienia stopy (wskaźnik AI Rogersa-Cavanagha) – badanie podczas stania u pacjentów z jedną stopą Charcota.

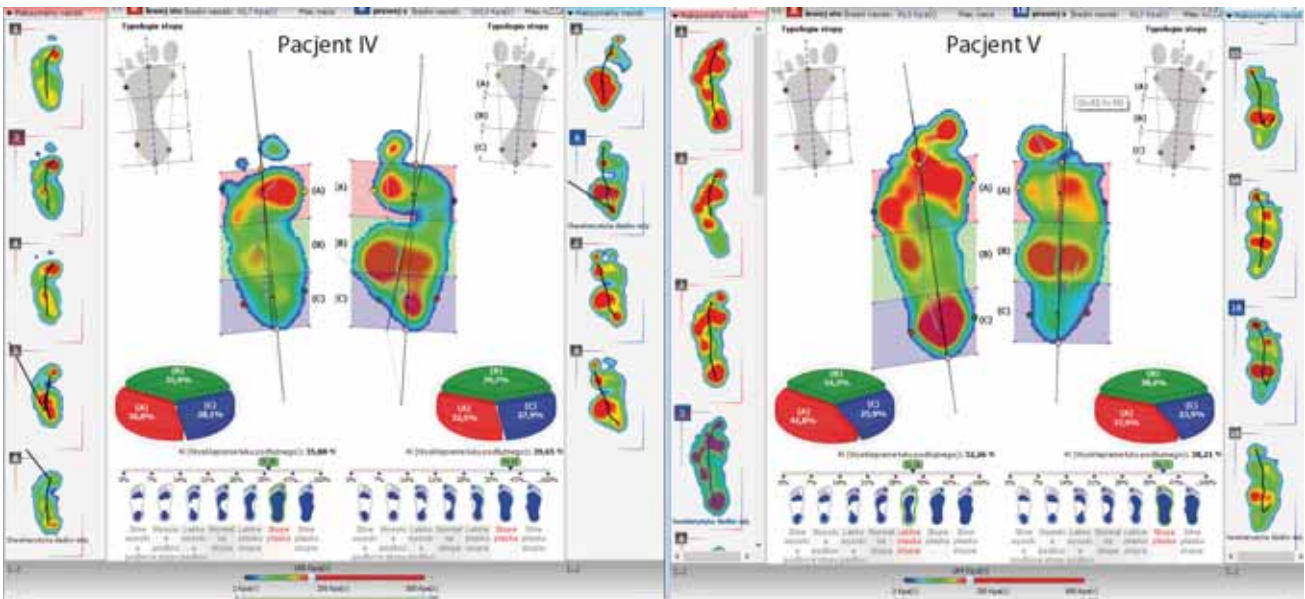




Ryc. 9. Ocena sklepienia stopy (wskaźnik AI Rogersa-Cavanagha) – badanie podczas stania u pacjentów z jedną stopą Charcota.



Ryc. 10. Ocena sklepienia stopy (wskaźnik AI Rogersa-Cavanagha) – badanie podczas stania u pacjentów z dwiema stopami Charcota.



Ryc. 11. Ocena sklepienia stopy (wskaźnik AI Rogersa-Cavanagha) – badanie podczas chodu u chorych z dwiema stopami Charcota.



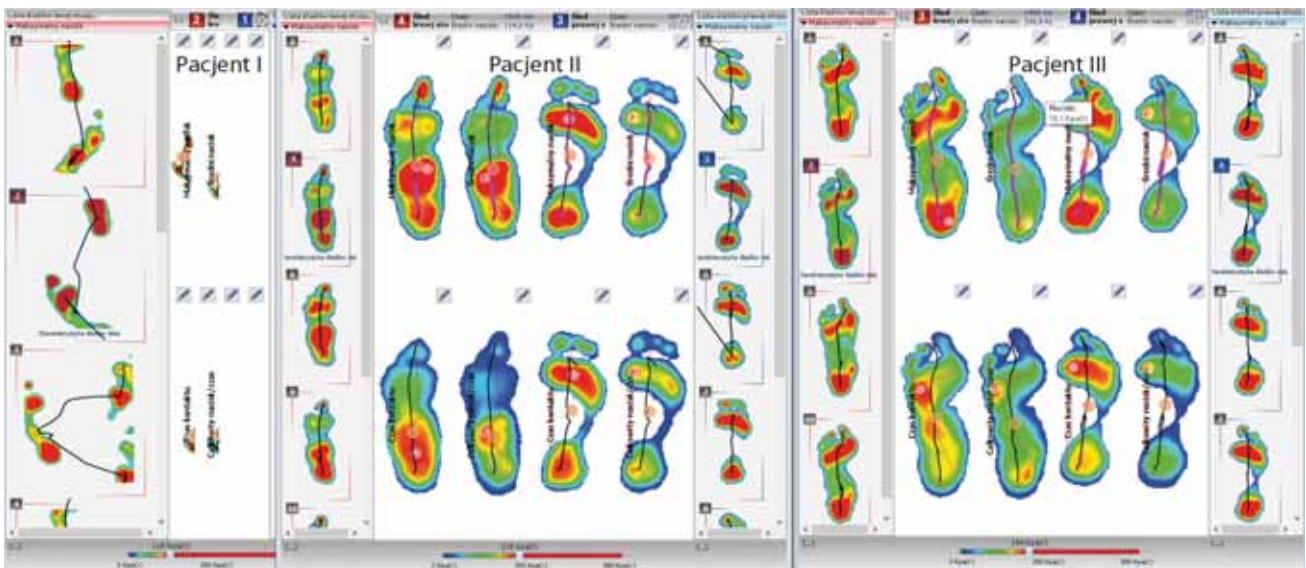
– zarówno w ocenie statycznej (Ryc. 8), jak i w jeszcze większym stopniu w ocenie dynamicznej u dwóch z trzech pacjentów (u pacjenta I wnioskowanie na podstawie analizy dynamicznej nie było możliwe ze względu na znaczne zaburzenia chodu) (Ryc. 9).

Analiza sklepienia za pomocą wskaźnika AI u chorych z dwiema stopami objętymi osteoartropatią Charcota potwierdziła wynik badania przedmiotowego, tj. znacznie obniżone łuki stopy. Obrys stopy oraz wskaźnik AI w dynamice ulegał zwiększeniu u większości pacjentów, co świadczyło o niewydolności strukturalnej sklepienia. Co interesujące – obniżenie łuku obserwowano również u pacjenta V w stopie o nieznacznym stopniu deformacji (stopa lewa). Pozwala to na postawienie wniosku, iż niewydolne struktury powodują pogłębianie problemu, tym bardziej, że w wyniku kompensacji omawiany chory znacznie bardziej obciążał stopę (zarówno podczas stania, jak i podczas chodu).

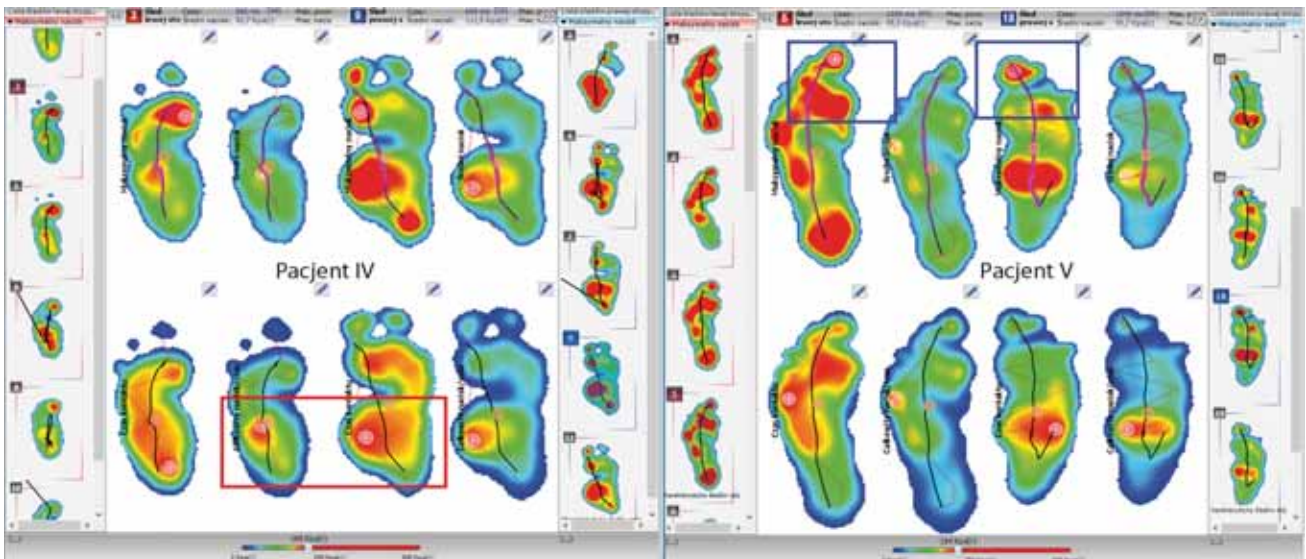
## WYNIK BADANIA PROGRESJI STOPY (PRZETACZANIA STOPY)

Progresja stopy wykazywała znaczne zaburzenia linii przetaczania oraz zmiany kierunków ruchu (w tym cofanie) – zarówno u pacjentów z jedną chorą stopą, jak i z dwiema (Ryc. 12, 13). Dodatkowo w większości śladów obserwowano chód pronacyjny (ze zwiększonym naciskiem na przyśrodkową część stopy – cecha płasko-koślawości).

Należy zauważyć, że u pacjenta z niezaawansowaną osteoartropatią Charcota obserwowano w dużej części śladów prawidłową linię przetaczania stopy, tj. supinację na poziomie śródstopia oraz pronację w przodostopiu. Zważywszy na fakt, iż w ocenie przedmiotowej u osób z jedną stopą zmienioną chorobowo wykazano szpotawość stępu w warunkach statycznych, pronacja stopy (płasko-koślawość dynamiczna) świadczyła o niestabilności stawów stępu (skokowo-goleniowego, skokowo-piętowego) oraz stępuwo-śródstopnych.



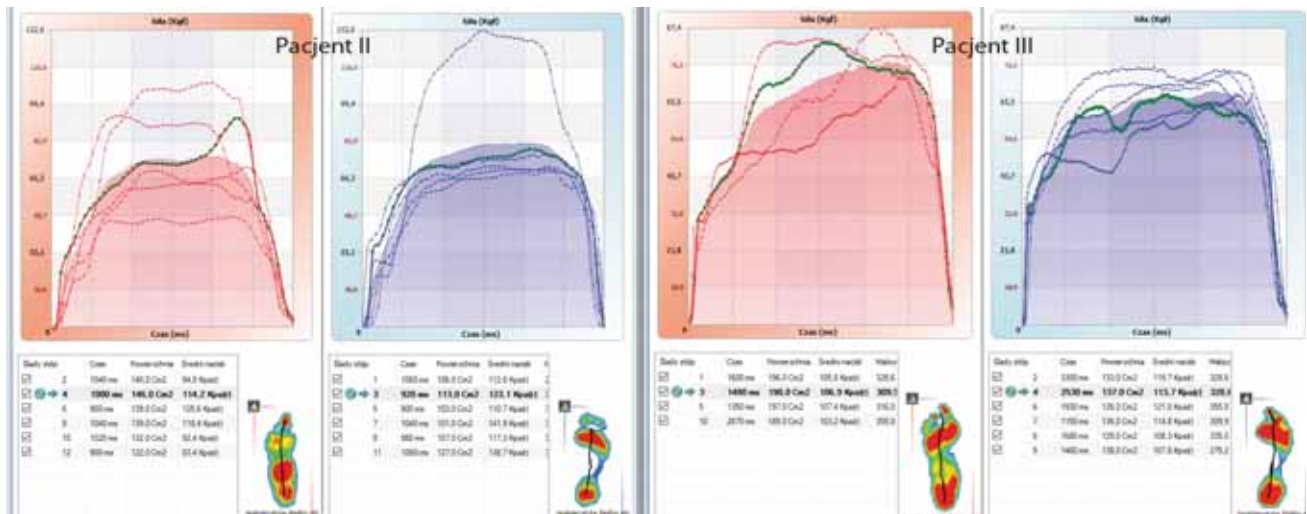
Ryc. 12. Ocena progresji (przetaczania stóp) u pacjentów z jedną stopą objętą neuroosteoartropatią Charcota.



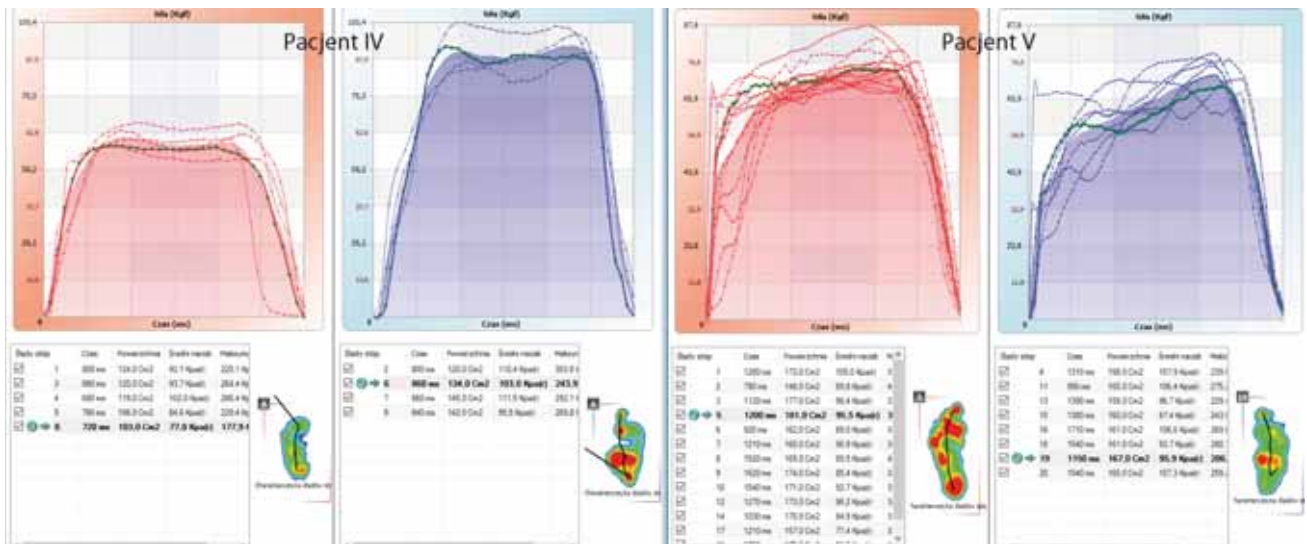
Ryc. 13. Ocena progresji (przetaczania stóp) u pacjentów z dwiema stopami objętymi neuroosteoartropatią Charcota.

Tabela 3. Parametry nacisku i powierzchni u pacjentów z neuroosteopatią Charcota.

	Nacisk maksymalny (Kpa)		Nacisk średni (Kpa)		Powierzchnia przyłożenia (cm <sup>2</sup> )		Obciążenie stron ciała w płaszczynie czołowej	
	S. Lewa	S. prawa	S. Lewa	S. prawa	S. Lewa	S. prawa	Lewa	Prawa
Pacjent I	166	154,7	62,2	56	137	80	65,50%	34,50%
Pacjent II	151	244,9	54,8	71,5	114	122	41,70%	58,30%
Pacjent III	135	237,4	54,7	72,3	152	97	54,20%	45,80%
Pacjent IV	127	157,4	51,1	49,6	115	131	47,5	52,5
Pacjent V	390,9	107,2	57,8	37,2	155	123	65,8	34,2



Ryc. 14. Nacisk na stopy podczas chodu u pacjentów z jedną stopą Charcota.



Ryc. 15. Nacisk na stopy podczas chodu u pacjentów z dwiema stopami Charcota.

Obserwowanym niekorzystnym faktem jest wydłużony czas kontaktu oraz wzmożony nacisk w miejscach owrzodzeń (miejscza zaznaczone czerwoną ramką).

### ROZKŁAD NACISKU PODCZAS STANIA

Rozkład nacisku podczas stania w poszczególnych sektorach stopy modelu Cavanagha umieszczono w Tabeli 2. W zestawieniu tabelarycznym uwzględniono wartości nacisku (średnich i maksymalnych) w poszczególnych

metapłaszczyznach stopy wyznaczonych według modelu Cavanagha (Ryc. 3). Wykorzystano następujące oznaczenia:

- MH – wewnętrzna część stępu;
- LH – zewnętrzna część stępu;
- MF – śródstopie;
- M1–5 – głowy kości śródstopia;
- T1 – paluch;
- T2–5 – palce II–V.

Zestawienie zawiera również wskazania pedobarografu dotyczące płaszczyny przyłożenia oraz sił nacisku

w ujęciu liczbowym oraz odsetkowym, zgodnie z modelem Cavanagha.

Wyniki badania dystrybucji nacisku podczas stania wykazały:

- wzmożony nacisk na śródstopie w stopach z neuroosteopatią Charcota, obniżony nacisk na śródstopie w stopach bez zmian (co potwierdza cechy wydrążenia stopy); płaszczyzna MF u pacjentów ze stopą Charcota była znacznie większa od płaszczyzn MF w stopach zdrowych;
- wyniki analizy metapłaszczyzn M1–M5 dowiodły wzmożonego nacisku na środkowe głowy kości śródstopia, co wskazywało na obniżenie łuku poprzecznego stopy;
- w czterech stopach obserwowano wzmożony nacisk w obrębie palucha (T1) (pacjent I – stopa lewa, pacjent III – stopa lewa i prawa, pacjent V – stopa lewa); zjawisko wzmożonego nacisku w obrębie palucha obserwowano również u tych badanych podczas przetaczania stopy (Ryc. 12, 13 – miejsca oznaczone niebieską ramką).

## DYSTRYBUCJA NACISKU NA STOPY PODCZAS CHODU

Dystrybucja nacisku na stopy podczas chodu wskazuje na fakt, iż badane osoby z osteopatią Charcota w obrębie jednej stopy (Ryc. 14) największy nacisk osiągają w śródstopiu – zarówno w stopie zdrowej, jak i zmienionej chorobowo. Normatywnie nacisk w śródstopiu powinien być znacznie mniejszy niż na pięcie oraz w przodostopie i stanowić 80% wartości nacisku średniego. Ciśnienia oddziałujące na piętę i przodostopie powinny być porównywalne i wynosić 120% wartości nacisku średniego [20]. Taka sytuacja sprzyja degradacji tkanek.

## OMÓWIENIE

Badanie stóp u chorych z cukrzycą sprzyja wczesnemu wykrywaniu zmian morfologii stopy oraz zaburzeń dystrybucji nacisku. Podczas niniejszych badań pilotażowych u pacjentów z neuroosteopatią Charcota obserwowano cechy wydrążenia stóp podczas chodu w stopach zdrowych. Analiza progresji stopy w tym obszarze wykazała wzmożoną siłę nacisku na śródstopie, co stanowi istotny aspekt diagnostyczny i postulat do dalszych badań w kierunku:

- oceny korelacji wydrążenia stóp jako czynnika predysponującego do powstawania degradacji tkanek w konsekwencji neuroosteopatii Charcota;
- wnioskowania, iż powstanie cech wydrążenia stopy jest jednym z pierwszych symptomów stopy Charcota.

Niemniej w postępowaniu profilaktycznym istotną kwestią jest zaopatrzenie cech wydrążenia w celu obniżenia nacisku na śródstopie, poprzez podparcie sklepienia stopy, projektowanej po badaniu dynamicznym oraz ocenie manualnej, w tym zakresów ruchomości w stawach.

Badani pilotażowo pacjenci wykazali niesymetryczne i chaotyczne zaburzenia funkcji stopy oraz niestabilność strukturalną. Istotną kwestią w ocenie stóp z neuroosteopatią Charcota jest ocena stabilności struktur na poziomie sektorów stopy, w których dochodzi do degradacji tkanek: stęp, śródstopie i przodostopie. Niniejsze badania pilotażowe wykazały niestabilność:

- w obrębie sklepienia stopy, tj. obniżanie sklepienia podczas chodu (zarówno łuku podłużnego, jak i poprzecznego);
- w obrębie stępu i stawów stępowo-śródstopnych, tj. chód pronacyjny z cechami płasko-koślawości.

W postępowaniu profilaktycznym lub terapeutycznym należy uwzględnić stabilizację stępu oraz śródstopia z wykorzystaniem indywidualnej wkładki ortopedycznej, przygotowywanej poprzez odwzorowanie sklepienia stopy, po uwzględnieniu możliwej dla pacjenta korekcji manualnej (Ryc. 16).

Indywidualnie dopasowany łuk, projektowany w oparciu o powyższe zasady, pozwoli na:

- unormowanie dystrybucji nacisku w ujęciu progresji stopy;
- profilaktykę degradacji tkanek w śródstopiu, poprzez zabezpieczenie przed jego opadaniem oraz ustabilizowanie i wsparcie sklepienia elementem korekcyjnym;
- odciążenie palucha poprzez supinację stopy (tj. eliminację nadpronacji podczas przetaczania stopy).

U badanych osób wykazano liczne zaburzenia zarówno w zakresie wad stóp, jak i funkcji przetaczania stopy. W badaniach stóp należy uwzględnić progresję stopy i jakość chodu, a w szczególności odstępstwa od norm w zakresie centrowania kończyny (koślawość, szpotawość, płaskokoślawość, a w konsekwencji nadpronacja lub nadsupinacja). Istotną kwestią jest ocena symetrii stóp oraz długości kończyn. W postępowaniu profilaktycznym lub/i terapeutycznym należy włączyć elementy korygujące powyższe nieprawidłowości, tj. korekcję koślawości/szpotawości stępu, kolan, wyrównanie długości kończyn. W konsekwencji całość wkładki należy wzmocnić elementem stabilizującym stęp i śródstopie (Ryc. 17).

W badanej grupie obserwowano wydłużony czas wzmożonego średniego nacisku w miejscach owrzodzeń. Wnioskować można więc o ścisłym związku obu parametrów (czas i średni nacisk) z powstawaniem ran przeciążeniowych. W postępowaniu profilaktycznym lub/i terapeutycznym w miejscach wzmożonego nacisku we wkładce ortopedycznej należy zastosować materiały odciążające, co w szczególności dotyczy zarówno łuku poprzecznego, jak i podłużnego stopy; natomiast w miejscach owrzodzeń otwory, które sprzyjać będą miejscowemu odciążeniu (Ryc. 18).

Stopy pacjentów z neuroosteopatią Charcota wykazują duże zmiany w budowie (zwiększenie obrysu i obwodów stóp). W postępowaniu profilaktycznym lub/i terapeutycznym należy uwzględnić indywidualne dopasowanie obuwia,





Ryc. 16. Wkładka stabilizująca stopę.



Ryc. 17. Wkładka korygująca długość kończyny, korekcję koślawości stępu wraz ze stabilizacją stępu.



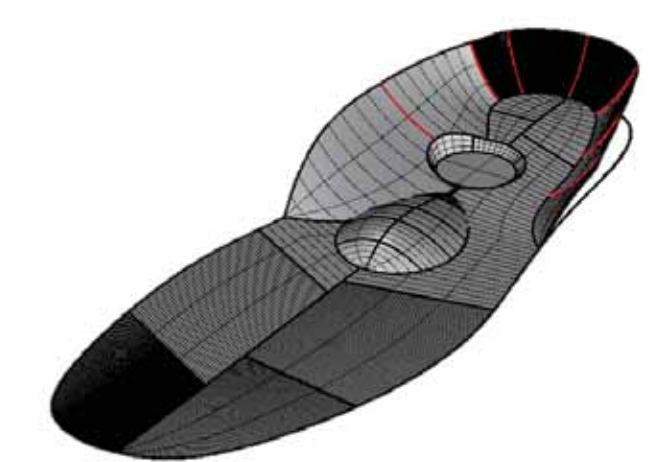
Ryc. 18a. Pacjent ze zmianą przeciążeniową w obrębie części przyśrodkowej łuku podłużnego.



Ryc. 18b. Indywidualna wkładka ortopedyczna przygotowana z wycisku stopy, z uwzględnieniem korekcji supinacji stopy, z otworem odciążającym zmianę przeciążeniową.

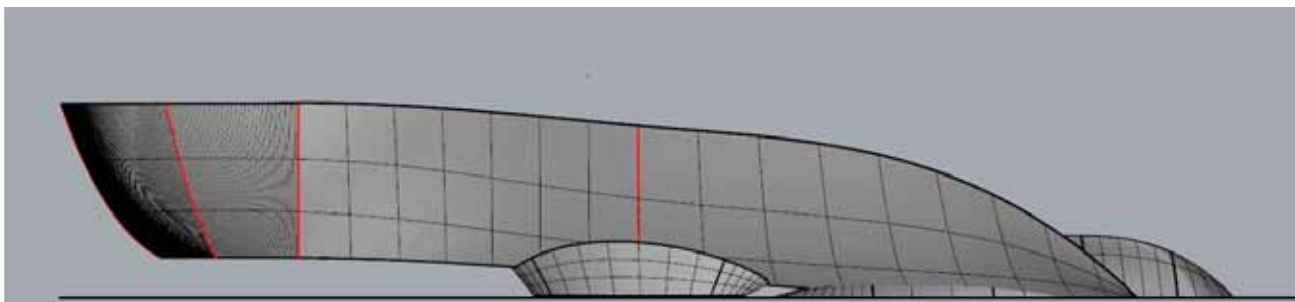


Ryc. 19. Przykładowe indywidualne obuwie ortopedyczne wykonywane na podstawie antropometrii stopy, z uwzględnieniem tęgłości stopy oraz zaopatrzenia w indywidualną wkładkę ortopedyczną.



Ryc. 20. Projekt wierzchniej części indywidualnej wkładki ortopedycznej, zaprojektowany dla pacjenta z neuroosteoartropatią Charcota za pomocą programu RhinoCeros (Insoles 3D) – LutraCad.





Ryc. 21. Projekt wierzchniej części indywidualnej wkładki ortopedycznej, zaprojektowany dla pacjenta z neuroosteoartropatią Charcota za pomocą programu RhinoCeros (Insoles 3D) – LutraCad.

a w razie potrzeby jego realizację na podstawie antropometrii stóp. Indywidualne wkładki ortopedyczne należy dopasować w układzie stopa + wkładka + obuwiu (Ryc. 19).

Zważywszy na fakt, iż zaopatrzenie w indywidualne wkładki ortopedyczne wymaga bardzo dokładnego dopasowania elementów stabilizacyjnych, korekcyjnych i przede wszystkim odciążających, najważniejszą kwestią jest ich precyzyjne zaprojektowanie i wykonanie. W tym obszarze najlepszym technologicznym rozwiązaniem jest zastosowanie technologii CNC, w której to za pomocą oprogramowania CAD-CAM (ang. computer aided manufacturing – computer aided design) istnieje możliwość:

- projektowania szczegółowych elementów;
- zabezpieczenia sklepienia stopy oraz stabilizacji, uwzględniając właściwości stóp podczas chodu;
- realizacji odciążań, również poprzez zastosowanie precyzyjnych otworów, rozmiarem i kształtem dopasowanym do antropometrii zmiany oraz jej przemieszczenia podczas chodu, a w szczególności wskazanych podczas skanowania stóp oraz analizy dynamicznej. Przykładowe rozwiązanie zaprezentowano na Ryc. 20, 21.

## WNIOSKI

1. Badanie dystrybucji nacisku na stopy realizowane poprzez pedobarografię u pacjentów z neuroosteoartropatią Charcota jest kluczową kwestią w planowaniu procesu terapii.
2. Ocena stóp podczas chodu pozwala na precyzyjne projektowanie elementów odciążających, korekcyjnych i stabilizujących.
3. W procedurach działań projektowo-produkcyjnych zaopatrzenia ortopedycznego stóp należy uwzględnić rozwiązania pozwalające na wykonanie najbardziej szczegółowych elementów.

**KONFLIKT INTERESÓW:** nie zgłoszono.

**DEKLARACJA PRZEJRZYSTOŚCI:** prezentowany materiał obejmuje wyniki prac badawczo-rozwojowych, prowadzonych w ramach projektu nr RPZP01.01.00-32-0006/17-00 pt.: „Opracowanie urządzenia do automatyzacji produkcji indywidualnych wkładek ortopedycznych” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego 2014–2020. Działanie 1.1 Projekty badawczo-rozwojowe przedsiębiorstw.

## PIŚMIENNICTWO

1. Ashry HR, Lavery LA, Murdoch DP, Frolich M, Lavery DC. Effectiveness of diabetic insoles to reduce foot pressures. *J Foot Ankle Surg* 1997;36(4):268–271.
2. Bell WB. Further Studies on the Production of Bovine Hyperkeratosis by the Administration of a Lubricant. Vol. 3. *Virginia Journal of Science (new series)* 1952, pp. 169–177.
3. Bitenc-Jasiejko A, Białas M. Zakres okresowych i przesiewowych badań stóp w profilaktyce ran przeciążeniowych oraz zmian degradacyjnych w obrębie układu kostno-stawowego stopy. *Leczenie Ran* 2018;15(1):1–12.
4. Bitenc-Jasiejko A. Pedobarografia jako metoda diagnostyczna wczesnego wykrywania zagrożeń powstawania ran przeciążeniowych w obrębie części podszwowej stopy u pacjentów z zespołem stopy cukrzycowej. *Leczenie Ran* 2017;14(2):39–44.
5. Boulton AJM, Armstrong DG, Kirsner RS et al. *Diagnosis and management of diabetic foot complications*. Arlington (VA), American Diabetes Association, 2018.
6. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech* 1987;20(5):547–551.
7. Czech A. Późne powikłania cukrzycy typu II. *PTL* 1993;48(Suppl. 1):S23.
8. Deschamps K, Matricali GA, Desmet D et al. Efficacy measures associated to a plantar pressure based classification system in diabetic foot medicine. *Gait Posture* 2016;49:168–175.
9. Edmonds ME. The diabetic foot: pathophysiology and treatment. *Clin Endocrinol Metab* 1986;15(4):889–916.
10. Ergun S, Yildirim Y. The cole midfoot osteotomy: clinical and radiographic retrospective review of five patients (six feet) with different etiologies. *J Am Podiatr Med Assoc* 2019;109(3):180–186.
11. Friedlein J, Lorkowski J, Wilk R, Hładki W. Neuroartropatia Charcota – etiologia, diagnostyka i leczenie. *Ostry dyżur* 2015;8(3):82–85.
12. Illgner U, Mehlhorn AT, Osada N, Krenn V. Histopathological Charcot score on intraoperative tissue samples from the foot: a prospective investigation. *Orthopaed* 2019;48(8):693–703.
13. Klenerman L, Wood B. *The Human Foot: a Companion to Medical Studies*. Springer, Berlin, 2006.
14. Kwon OY, Mueller MJ. Walking patterns used to reduce forefoot plantar pressures in people with diabetic neuropathies. *Phys Ther* 2001;81(2):828–835.
15. Lavery LA, Oz OK, Bhavan K, Wukich DK. Diabetic foot syndrome in the twenty-first century. *Clin Podiatr Med Surg* 2019 ;36(3):355–359.
16. Najafi B, Crews RT, Armstrong D, Rogers LC, Aminian K, Wrobel J. Can we predict outcome of surgical reconstruction of Charcot neuroarthropathy by dynamic plantar pressure assessment? A proof of concept study. *Gait & Posture* 2010;31(1):87–92.
17. Patel VG, Wieman TJ. Effect of metatarsal head resection for diabetic foot ulcers on the dynamic plantar pressure distribution. *Am J Surg* 1994;167(3):297–301.
18. Shazadeh Safavi P, Jupiter DC, Panchbhavi V. A systematic review of current surgical interventions for Charcot neuroarthropathy of the midfoot. *J Foot Ankle Surg* 2017;56(6):1249–1252.
19. Skopljak A, Sukalo A, Batic-Mujanovic O, Muftic M, Tric-Campara M, Zunic L. Assessment of diabetic polyneuropathy and plantar pressure in patients with diabetes mellitus in prevention of diabetic foot. *Med Arch* 2014;68(6):389–393.
20. Śnieżek A, Mężyk A, Michnik R. Analiza dynamiki i kinematyki chodu prawidłowego. *Aktualne Problemy Biomechaniki* 2007;1:191–196.
21. Tatoń J. Profilaktyka zespołu stopy cukrzycowej oparta na patofizjologii. *Med Metabol* 2014;18(4):76–82.
22. Volkering C, Kriegelstein S, Kessler S, Walther M. Treatment of hindfoot instability in Charcot foot using a hybrid technique of internal and external fixation. *Oper Orthop Traumatol* 2015;27(2):101–113.
23. Young MJ, Cavanagh PR, Thomas G, Johnson MM, Murray H, Boulton AJ. The effect of callus removal on dynamic plantar foot pressures in diabetic patients. *Diabet Med* 1997;9(1):55–57.