Zeszyty Naukowe
Akademii Górnośląskiej
Nr 11/2023, s. 36 - 43
DOI: 10.53259/2023.11.04

ISSN 2956-6673
e-ISSN 2956-6681

Izabela Cieśla-Panek, Małgorzata Ruprich, Ewelina Cegiełko
Akademia Górnośląska im Wojciecha Korfantego w Katowicach
Katowice, Polska
e-mail: malgorzata.ruprich@akademiagornoslaska.pl

MECHANIZMY DZIAŁANIA MEDYCZNEGO DWUTLENKU WĘGLA W ZABIEGACH ESTETYCZNYCH

CARBON DIOXIDE THERAPY IN AESTHETIC TREATMENTS

Słowa kluczowe: Karboksyterapia, dwutlenek węgla w zabiegach estetycznych, procedury estetyczne,
Keywords: *Carboxytherapy, carbon dioxide in aesthetic treatments, aesthetic procedures*

Streszczenie
Dwutlenek węgla jest szeroko stosowany w różnych dziedzinach medycyny. Znalazł zastosowanie min. w urologii, ginekologii a także w zabiegach diagnostycznych, takich jak ocena drożności jajowodów i jajników (persuflacja), czy kolonoskopia. Karboksyterapia jest zabiegiem polegającym na podskórnym podaniu dwutlenku węgla, sterylnego gazu medycznego. Terapia dwutlenkiem węgla stymuluje wzrost kolagenu i elastyny. Jest stosowana w programach terapeutycznych w zakresie odmładzania, odbudowy i regeneracji skóry, niwelowania zmarszczek i wielu innych problemów skórnych. To sprawia, że potencjał karboksyterapii w medycynie i procedurach estetycznych jest bardzo duży.

Celem artykułu było przedstawienie możliwości wykorzystania dwutlenku węgla, w tym karboksyterapii, oraz mechanizmów jego działania na tkanki ludzkie.

Abstract
Carbon dioxide is used in various fields of medicine. Applies min. in urology, gynecology as well as in diagnostic procedures, such as assessment of the patency of the fallopian tubes and ovaries (persufflation) or colonoscopy. Carboxytherapy involves the subcutaneous injection of carbon dioxide, a sterile medical gas. Carbon dioxide therapy stimulates the growth of collagen and elastin. It is used in therapeutic programs for rejuvenation, reconstruction and regeneration of the skin, wrinkle reduction and many other skin problems. This makes the potential of carboxytherapy in medicine and aesthetic procedures very large.

The study aimed to present the possibilities of using carbon dioxide in carboxytherapy, and the mechanisms of its action on human tissues.

WSPÓŁCZESNE KLINICZNE ZASTOSOWANIE DWUTLENKU WĘGLA W MEDYCYNIE

We współczesnej medycynie dwutlenek węgla jest szeroko stosowany w różnych jej dziedzinach. Znalazł on zastosowanie min. w urologii, ginekologii a także w zabiegach diagnostycznych, takich jak ocena drożności jajowodów i jajników (persuflacja), czy kolonoskopia. Dwutlenek węgla jest też powszechnie stosowany w kardiochirurgii podczas małoinwazyjnych zabiegów naprawczych zastawki mitralnej, w celu zminimalizowania ryzyka embolizacji powietrzem. Stosuje się go również w trakcie kardiochirurgicznych operacji w obrębie naczyń wieńcowych bez użycia krążenia pozaustrojowego (OPCAB), gdzie jego zadaniem jest przygotowanie i lepsze uwidocznienie pola operacyjnego. Również w przypadku operacji laparoskopowych dwutlenek węgla jest niezbędny do wykonania procedury. Operacje takie

wymagają wytworzenia odmy poprzez aplikację gazu do jamy otrzewnej. Insuflacja czyli napełnienie jam ciała CO_2, jest bardziej korzystne i mniej inwazyjne dla pacjenta, niż zastosowanie powietrza, gdyż dwutlenek węgla ulega szybszemu wchłonięciu, co znacznie zmniejsza dyskomfort, zarówno w trakcie zabiegu jak i w okresie pooperacyjnym. Dwutlenek węgla wykorzystywany jest także w fizjoterapii. Najpopularniejszym i powszechnie znanym zabiegiem fizjoterapeutycznym z użyciem CO_2 jest krioterapia oraz kąpiel w suchym CO_2. [Gençpınar i in., 2018; Chaudhuri i in., 2012]

ROLA CO_2 W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA

Dwutlenek węgla jest niepalnym, bezwonnym i bezbarwnym, lekko kwaśnym gazem. Jest cięższy od powietrza i dobrze rozpuszcza się w wodzie. Występuje w organizmie człowieka i jest w nim naturalnie wytwarzany podczas procesu spalania tlenu w trakcie oddychania. Odgrywa ważną rolę w utrzymaniu równowagi kwasowo-zasadowej organizmu.

Dwutlenek węgla jest transportowany żyłami do płuc, skąd jego nadmiar jest wydychany. Zarówno tlen jak i CO_2 są gazami oddechowymi. W celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania całego organizmu gazy te muszą zostać efektywnie rozprowadzone za pomocą krwi. Transport dwutlenku węgla odbywa się w trzech mechanizmach. Około 20% łączy się z białkami osocza i z białkową częścią hemoglobiny, natomiast 10% dwutlenku węgla rozpuszcza się w osoczu. Pozostała część dwutlenku węgla (ok. 70%) transportowane jest w osoczu w formie jonów wodorowęglanowych HCO_3-. Jony te tworzone są z CO_2 i H_2O m.in. w erytrocytach [Sun, Ji, Zhu, Zheng, 2013].

Tlen nie rozpuszcza się we w krwi, w związku z tym około 98% gazu jest dystrybuowana przez hemoglobinę. Warunkiem uwolnienia tlenu z hemoglobiny jest odpowiednie stężenie CO_2 w pęcherzykach płucnych i krwi tętniczej. W sytuacji, kiedy stężenie dwutlenku węgla jest niewystarczające, tlen tworzy z hemoglobiną nierozerwalny kompleks i nie jest uwalniany do narządów i tkanek, co w konsekwencji doprowadza do powstania głodu tlenowego, czyli hipoksji.

Dwutlenek węgla odgrywa także ważną rolę w utrzymaniu równowagi kwasowo-zasadowej krwi. Jest ona utrzymywana za pomocą dwóch mechanizmów- wymianie gazowej w płucach (regulacja oddechowa), oraz wydalaniu w nerkach (regulacja metaboliczna). Płuca dostarczają do krwi tlen, który zostaje przetransportowany do wszystkich tkanek organizmu. Jednocześnie usuwają one dwutlenek węgla, którego nadmiar gromadzi się w organizmie, jako produkt oddychania komórkowego, niezbędnego do uzyskania energii. Poprzez eliminację dwutlenku węgla możliwe jest zachowanie prawidłowego ciśnienia parcjalnego we krwi i płynach ustrojowych. Regulacja metaboliczna polega na wyeliminowaniu przez nerki jonów wodorowych i zapewnienia odpowiedniej ilości zasad buforujących. Równowaga kwasowo-zasadowa jest ściśle kontrolowana przez system buforów, które utrzymują ją w zakresie między 7,36 – 7,45 [Zelenková, Stracenská, 2009].

Kolejnym zadaniem dwutlenku węgla w organizmie jest regulowanie działania układu oddechowego. Sygnał do ośrodka oddechowego wysyłany jest poprzez chemoreceptory, które są zlokalizowane:

- centralnie w pniu mózgu – są one wrażliwe na zmiany pH i ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla,
- obwodowo – w okolicy rozgałęzienia tętnicy szyjnej wspólnej (kłębek szyjny) i w łuku aorty (kłębki aortalne) – są one wrażliwe na ciśnienie parcjalne tlenu.

Dwutlenek węgla odgrywa również istotna rolę w procesie wazodylatacji, czyli zwiotczenia mięśni gładkich w ścianach naczyń krwionośnych, czego konsekwencją jest rozszerzenie lub rozwinięcie naczyń krwionośnych. Rozszerzenie naczyń krwionośnych odpowiedzialne jest za lepszą cyrkulację krwi bogatej w tlen oraz składniki odżywcze, a także za spadek jej ciśnienia [Sun, Ji, Zhu, Zheng, 2013].

MECHANIZM DZIAŁANIA KARBOKSYTERAPII

Karboksyterapia oznacza kontrolowane zastosowanie oczyszczonego dwutlenku węgla w różnych częściach ludzkiego ciała, w celu poprawy krążenia w tkankach, poprawy elastyczności skóry, re-

dukcji miejscowych nadmiarów tkanki tłuszczowej lub korekcji efektu kosmetycznego uzyskanego po liposukcji. [Pianez i in., 2016].

Terapia ta jest uznawana za metodą całkowicie bezpieczną, ponieważ bazuje na naturalnych procesach fizjologicznych zachodzących w tkance pod wpływem działania dwutlenku węgla. Najczęstszymi wskazaniami do zastosowania karboksyterapii jest lokalne nagromadzenie tkanki tłuszczowej, terapia blizn różnego pochodzenia (blizny atroficzne, pourazowe, pooperacyjne), rozstępy, cellulit, poprawa wyglądu skóry okolicy oczu. Dwutlenek węgla jest również coraz częściej wykorzystywany w problemach trychologicznych, takich jak łysienie i nadmierna utrata włosów, a także jako terapia pomocnicza w łagodzeniu objawów łuszczycy. Zabieg jest mało inwazyjny, aplikacja polega na podaniu gazu do tkanek za pomocą cienkiej igły. W zależności od oczekiwanych rezultatów dwutlenek węgla podawany jest podskórnie lub śródskórnie. Głębokość i kąt iniekcji dobierany jest zależnie od miejsca aplikacji [Zelenková, Stracenská, 2009; Drogovoz i in., 2019].

Charakterystyka aparatury do karboksyterapii

W związku ze stałym wzrostem popularności karboksyterapii, na rynku pojawił się szeroki wachlarz urządzeń do wykonania tego typu zabiegów. Coraz więcej firm zajmujących się produkcją urządzeń medycznych i kosmetycznych wprowadza do swojej oferty nowoczesne i bezpieczne urządzenia do wykonania karboksyterapii, które posiadają wymagane certyfikacje. Działają one zwykle na podobnej zasadzie, natomiast różnią się techniką aplikacji medycznego dwutlenku węgla [Ruprich, 2018].
Najistotniejszym dla powodzenia terapii parametrem zabiegowym jest tzw. przepływ dwutlenku węgla na minutę (cc/min). Profesjonalne urządzenia powinny posiadać możliwość regulacji przepływu od 1–100 cc/min. Regulacja przepływu CO_2 w dermatologii estetycznej powinna być dostosowana do indywidualnej wrażliwości pacjenta (5 ml, 10 ml, 15 ml). Niezwykle istotna jest też możliwość regulacji ciśnienia gazu do 1 bara (100 000 Pa, 750 torów). Panel sterujący powinien być czytelny, intuicyjny a obsługa urządzenia powinna odbywać się dotykowo, co znacząco wpływa na eliminację ewentualnych awarii i poprawę parametrów higienicznych powierzchni. W odpowiedzi na współczesne wymagania rynku, niektóre firmy oferują urządzenia pokryte specjalnymi powłokami antybakteryjnymi, co wpływa na komfort i bezpieczeństwo użytkowania takiego sprzętu [Pinheiro i in., 2015].

Urządzenia najwyższej klasy, oprócz pełnej regulacji przepływów CO_2, oferują także funkcję podgrzewania gazu, co jest niezwykle ważne, ponieważ pozwala zmniejszyć dyskomfort odczuwany przez pacjenta podczas wykonywania zabiegu. Zasadniczą kwestią jest jakość i bezpieczeństwo używanego w trakcie procedury dwutlenku węgla. Aby zapewnić klientowi najwyższy poziom usługi oraz uniknąć ewentualnych powikłań po zabiegowych, niezbędne jest użycie w trakcie procedury wyłącznie oczyszczonego, medycznego, a co najważniejsze certyfikowanego CO_2. Certyfikacja taka zapewnia całkowite bezpieczeństwo i stanowi gwarancję, że użyty gaz nie jest dwutlenkiem węgla technicznym, i że jest on przeznaczony do wykonania procedur medycznych [Ruprich 2018].

Obecnie używa się kilka typów urządzeń do karboksyterapii:

- pistolety (bez urządzenia do karboksyterapii) – czyli urządzenia przeznaczone do wykonywania mezoterapii igłowej z funkcją karboksyterapii o bardzo słabym działaniu
- urządzenia do pracy manualnej oraz automatycznej (wykorzystujące pistolet)
- urządzenia do pracy manualnej (igła wprowadzana jest ręcznie).

Techniki aplikacji CO_2

Karboksyterapia w dermatologii estetycznej nie wymaga wcześniejszego przygotowania klienta do zabiegu. Nie stosuje się lokalnego znieczulenia, ponieważ lidokaina zawarta w preparatach znieczulających powoduje obkurczenie naczyń krwionośnych, co jest niekorzystnym zjawiskiem w przypadku terapii dwutlenkiem węgla. Po uprzednim oczyszczeniu i zdezynfekowaniu obszaru zabiegowego następuje iniekcja gazu, za pomocą cienkiej, sterylnej igły. Procedura przeprowadzana jest w zależności od obszaru zabiegowego, w pozycji leżącej lub półleżącej. Nakłucia są płytkie, śródskórne w przypadku biorewitalizacji i głębsze, podskórne w pracy z tkanką tłuszczową. Możliwe jest również zastosowanie obu technik (śródskórnej i podskórnej) w jednej procedurze, jeśli obszar zabiegowy tego wymaga. W trakcie iniekcji

widoczne jest przemieszczanie się aplikowanego CO_2 w obszarze zabiegowym. Wyczuwalne są, zarówno dla pacjenta, jak i osoby wykonującej zabieg tzw. krepitacje, czyli charakterystyczny, „trzeszczący" odgłos towarzyszący rozchodzeniu się gazu w tkance [Ruprich 2018]. Jest on wynikiem oporu jaki stawia tkanka podczas aplikacji dwutlenku węgla. Dochodzi do natychmiastowego, wyraźnego uniesienia tkanki. Najczęściej wykonuje się mniejszą liczbę nakłuć, aby uniknąć zbytniej traumatyzacji skóry, jednak obecnie coraz większą popularność zdobywają techniki z zastosowaniem większej ilości wkłuć. Wykorzystują one synergiczne działanie karboksyterapii, które stanowi połączenie samego nakłucia stanowiącego sygnał do zainicjowania procesów stymulacji skóry, oraz lokalnego działania gazu na tkankę poddaną zabiegowi. W ten sposób uzyskuje się lepsze efekty zabiegowe, gdyż w obszarze poddanym większej ilości wkłuć dochodzi dodatkowo do restrukturyzacji skóry. W przypadku rozstępów aplikacja uwarunkowana jest ich strukturą oraz rozmiarem.

Metodyka aplikacji dwutlenku węgla:

- śródskórna – stosuje się ją w ujędrnianiu skóry twarzy i szyi, odmładzaniu skóry rąk, łysieniu, redukcji rozstępów oraz cieni pod oczami. Płytka aplikacja CO_2 powoduje widoczne uniesienia tkanki, głównie przy aplikacji na nierównościach skóry. Kąt nachylenia igły wynosi 15–30°,
- śródskórna „popcorn" – iniekcja CO_2 odbywa się w kierunku od góry na dół, w miejscu aplikacji tworzy się widoczne, małe, półkoliste uniesienie skóry (pączek),
- śródskórna liniowa – CO_2 jest aplikowany retrogradacyjnie, widoczne są małe, wężowate rozszerzenie,
- podskórna – wykorzystywana się do redukcji miejscowych skupisk tkanki tłuszczowej oraz cellulitu a także w celu poprawy wydolności krążenia krwi. Kąt nachylenia igły 90°. CO_2 jest aplikowany z góry w dół [Drogovoz i in., 2019].

Wskazania medyczne

Działanie karboksyterapii w kontekście leczniczym i pielęgnacyjnym można rozpatrywać biorąc pod uwagę następujące mechanizmy jej działania.

Karboksyterapia jest skuteczną metodą leczenia niektórych objawów łuszczycy, zwłaszcza w skojarzeniu z tradycyjnymi metodami, w scleroderma circumscripta, alopecia difusa i alopecia areata. Wskazaniem medycznym do zastosowania serii zabiegów karboksyterapii są także różne rodzaje łysienia: plackowate, telogenowe czy androgenowe. Karboksyterapia stymulując wzrost macierzy włosa powoduje wyraźną poprawę ich gęstości oraz ilości [Drogovoz i n., 2019]. Lekarze stosują zabiegi karboksyterapii u pacjentów z trudno gojącymi się owrzodzeniami nóg, u chorych z obwodowymi powikłaniami cukrzycowymi, w terapii przerosłych blizn i koloidów oraz źle gojących się ran chirurgicznych, w leczeniu choroby Raynaud's, choroby Bürgera, obrzęku limfatycznego, a także w gojeniu po zastosowaniu implantów skóry [Yakovenko, 2014; Fioramonti i in., 2012].

WSKAZANIA ESTETYCZNE DO ZABIEGU KARBOKSYTERAPII W KONTEKŚCIE PROBLEMU STARZENIA

Zmarszczki, utrata elastyczności w obrębie twarzy, szyi, ust i rewitalizacja okolic oka

Skóra wokół oczu znacznie różni się od skóry na pozostałej części twarzy. Charakteryzuje się mniejszą ilością komórek w poszczególnych warstwach naskórka oraz mniejszą ilością gruczołów łojowych. Niedobory włókien kolagenowych i elastynowych sprawiają, że w tym obszarze szybciej pojawiają się oznaki starzenia. Na skutek zaburzonego mikrokrążenia do skóry dociera znacznie mniej tlenu oraz składników odżywczych, czego konsekwencją mogą być cienie pod oczami. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym uwidocznieniu się cieni w tej okolicy, jest cienka i przezierna skóra. Spadek napięcia mięśnia okrężnego oka oraz rozluźnienie jego więzadeł może być przyczyną obrzęków. Ponadto czynnikiem wpływającym na pojawienie się widocznych cech starzenia jest postępująca z wiekiem recesja

obręczy oczodołu zmniejszenie objętości tkanki tłuszczowej oraz praca mięśnia okrężnego oka [Fioramonti i in., 2012; Borowska, 2015]

Okolica ust to kolejny obszar narażony na pojawienie się oznak starzenia. W tym miejscu najczęściej obserwujemy tzw. zmarszczki palacza. Są to drobne zmarszczki powstające wokół ust, wynikające z często powtarzającego się ich ruchu podczas obejmowania papierosa przez osoby palące. Zmarszczki te mogą pojawić się również u osób, które mają nadmierną mimikę, oraz silną ekspresję mięśnia okrężnego ust [Trznadel-Grodzka, Kaszuba, 2016].

Zmiany związane z procesami starzenia w obrębie szyi spowodowane są zwiotczeniem skóry oraz separacją włókien mięśnia szerokiego szyi, który wiotczeje i słabnie, a jego pasma mięśniowe z wiekiem stają się coraz wyraźniej widoczne przez skórę. Ponadto zwiększenie masy ciała prowadzi do odkładani się tłuszczu pod i nad mięśniem szerokim szyi, co powoduje, że obwód szyi staje się większy. Drobne zmarszczki na szyi, będące wynikiem zaniku skóry, elastoza skórna i redukcja tkanki tłuszczowej w obrębie szyi prowadzą w konsekwencji do powstawania półkolistych bruzd szyjnych, oraz do pogorszenia jakości skóry w tym obszarze [Trznadel-Grodzka, Kaszuba, 2016]. Karboksyterapia poprawia elastyczność i napięcie skóry [De La Casa Almeida, Serrano, Roldan, 2013].

Zabiegi mogą być również wykorzystywane w obrębie twarzy w celu likwidacji tzw. „kurzych łapek", zmarszczek w okolicach powiek górnych i dolnych. Zwiększony przepływ krwi i zwiększenie ilości tlenu w tkance stymulują skórę do produkcji melaniny, co prowadzi do repigmentacji obszaru. Karboksyterapia rewitalizuje okolicę oczu likwidując cienie i tzw. worki pod oczami, zmarszczki statyczne oraz poduszeczki tłuszczowe. Zabieg można stosować również na gładziźnie czoła. Daje on efekt stymulacji syntezy kolagenu i elastyny [Pinheiro i in., 2015].

Zadowalające rezultaty można uzyskać po 3–4 tygodniach stosowania karboksyterapii w przypadku redukcji zmarszczek wokół oczu i ust, oraz drobnych zmarszczek na szyi. W sposób widoczny poprawia się elastyczność i napięcie skóry [Ahmed, Mohammed, Fatani 2019].

Poprawa jakości skóry dłoni

Skóra pokrywająca wierzchnią stronę dłoni charakteryzuje się bardzo cienkim naskórkiem oraz niewielką warstwą tłuszczową, luźno ułożonymi włóknami białkowymi, obecnością mieszków włosowych oraz niewielką ilością gruczołów łojowych i potowych. Procesy starzenia manifestują się na dłoniach w postaci plam barwnikowych, nierównomiernego zabarwienia a także nadmiernej suchości i ścieńczenia naskórka. Dodatkowo często dochodzi do przeświecania i uwidocznienia naczyń krwionośnych. Z wiekiem fibroblasty stają się mniej aktywne, w związku z tym spada tempo produkcji włókien podporowych. Zmniejsza się elastyczność skóry a metabolizm komórkowy znacznie zwalnia. Obserwuje się ubytki w warstwie lipidowej, podrażnienia i urazy goją się znacznie wolniej, pogorszeniu ulega również krążenie krwi w obrębie dłoni, co skutkuje ich ochłodzeniem oraz pogorszeniem zdolności regeneracji skóry w tym obszarze [Zelenková, Stracenská, 2009; Drogovoz i in., 2019].

Zabiegi karboksyterapii wpływają na usprawnienie mikrokrążenia oraz inicjują powstawanie nowych naczyń krwionośnych, co znacznie przyczynia się do poprawy wyglądu i funkcjonowania skóry w obszarze dłoni. Ponadto przywrócona zostaje elastyczność skóry, a grubość naskórka zwiększa się w sposób zauważalny. [Zelenková, Stracenská, 2009; Drogovoz i in., 2019].

Lipoliza

Badania naukowe dowiodły, że adipocyty, czyli komórki tłuszczowe wykazują wysoką wrażliwość na iniekcje dwutlenku węgla. Uznaje się, że dwutlenek węgla ma właściwości lipolityczne. Lipoliza polega na aktywacji odpowiednich receptorów oraz zainicjowaniu kaskady reakcji. Baroreceptory, które wysyłają sygnał do ośrodka naczyniowego są stymulowane ciśnieniem CO_2, który poprawia naturalne zdolności lipolityczne organizmu. Iniekcja dwutlenku węgla wpływa na znaczną poprawę mikrokrążenia w obszarze zabiegowym, co powoduje wzrost przepływu krwi, lepsze dotlenienie tkanki oraz sprawniejsze odprowadzenie metabolitów. Wzrasta także potencjał oksydacyjny, co pozwala uzyskać lepsze lokalne działanie lipolityczne w opracowanym obszarze [Kroumpouzos i in., 2022].

Baroreceptory stymulowane ciśnieniem dwutlenku węgla oraz wywołanym przez niego urazem, wysyłają sygnał, w wyniku którego dochodzi do uwolnienia histaminy, serotoniny, katecholamin oraz bradykininy [Yakovenko, 2014].

Dwutlenek węgla dostarczony bezpośrednio do tkanki działa dwufazowo- biochemicznie oraz mechanicznie. Biochemiczny mechanizm działanie dwutlenku węgla został opisany w 1904 r. przez duńskiego fizjologa Christiana Bohra. Jest on znany jako tzw. efekt Bohra i polega na zmniejszeniu powinowactwa hemoglobiny do tlenu w warunkach obniżonego pH. Oksyhemoglobina jest nietrwałym połączeniem hemoglobiny z tlenem, a o trwałości tego połączenia decyduje wartość pH krwi. Zasadowe pH środowiska sprawia, że powinowactwo hemoglobiny do tlenu rośnie, co powoduje utrudnione oddawanie tlenu tkankom, natomiast w środowisku kwaśnym hemoglobina łatwiej oddaje tlen, ponieważ obniżenie pH sprzyja wiązaniu protonów przez hemoglobinę i dysocjacji tlenu, co zmniejsza jej powinowactwo do tlenu. Optymalne warunki funkcjonowania organizmu zapewnia efektywne wiązanie tlenu przez krew w płucach i równie wydajne jego oddawanie w tkankach. Jedną z różnic, jakie napotyka krew w płucach i w tkankach jest różnica wartości pH. W tkankach występuje niższe pH, gdyż produkowany w procesach oddechowych dwutlenek węgla, reagując z wodą, tworzy cząsteczki kwasu węglowego, który obniża pH tkanki. Reakcję tą katalizuje enzym anhydraza węglanowa, obecny głównie w erytrocytach [Drogovoz i in., 2019].

Dwutlenek węgla dostarczony do tkanki reaguje z cząsteczkami wody, w wyniku czego dochodzi do powstania cząsteczki kwasu węglowego. Kwas ten powoduje obniżenie wartości pH w obszarze poddanym działaniu dwutlenku węgla. W tym momencie dochodzi do wystąpienia efektu Bohra: im niższa jest wartość pH tkanki, tym słabsze staje się wiązanie pomiędzy hemoglobiną, a tlenem w jej obszarze. Zatem podczas zabiegu karboksyterapii dochodzi do znacznego ułatwienia uwalniania tlenu z hemoglobiny, co skutkuje lepszym dotlenieniem miejsca objętego zabiegiem. Ponadto, na poziomie pH 6,8 i niższym zwiększa się przepuszczalność ścian naczyń krwionośnych, zaś na poziomie pH 6,5 lub niższym wzrasta również stopień elastyczności włókien kolagenowych, a ich twardość ulega znacznemu zmniejszeniu. Pozostałe reakcje chemiczne obejmują redukcję dwuwartościowych jonów wapnia i rozszczepienie kwasu węglowego do H+ oraz HCO_3 -, co skutkuje utworzeniem węglanu wapnia, węglanu sodu i węglanu potasu (Ca (HCO3)2, $NaHCO_3$, $KHCO_3$. W wyniku reakcji chemicznych dochodzi do alkalizacji tkanki, co ostatecznie prowadzi do wytworzenia efektu znieczulającego oraz spazmolitycznego. Zmniejsza się napięcie ścian tętnic i kapilar, a temperatura skóry wzrasta o 1°C. Wspomniany efekt, połączony ze zmianą aktywności zakończeń nerwowych powoduje poprawę parametrów troficznych w leczonych obszarach zabiegowych. Równocześnie nasila się proces utleniania tłuszczy z komórek tłuszczowych, a niektórzy autorzy stwierdzają bezpośredni lipolityczny wpływ na adipocyty. Powstały w ten sposób CO_2 wydalany jest przez płuca.

Opisane zostały także ogólnoustrojowe efekty karboksyterapii, prowadzące do rozszerzenia tętnic wieńcowych, bradykardii i obniżenia ciśnienia krwi [Drogovoz i in., 2019; Kroumpouzos i in., 2022].

Intensyfikacja syntezy kolagenu

Liczne badania naukowe dowiodły znaczny wzrost syntezy włókien podporowych w obrębie skóry właściwej po zastosowaniu śródskórnych iniekcji dwutlenku węgla. Z obserwacji wynika, że zainicjowanie lokalnego stanu zapalnego, który jest odpowiedzią na uraz skórny, spowodowany nakłuciem skóry a także miejscowe działanie gazu uruchamia kaskadę mechanizmów naprawczych, co prowadzi do syntezy nowych włókien kolagenowych. Karboksyterapia działa zatem dwutorowo. Po pierwsze jest inicjatorem powstania kontrolowanego stanu zapalnego, którego konsekwencją jest uwolnienie substancji i czynników wzrostu przyśpieszających syntezę włókien białkowych, oraz wpływających na neoangiogenezę. Dodatkowo, umożliwia maksymalne dotlenienie leczonego obszaru, co poprawia skuteczność fazy regeneracji [Borowska, 2015].

Neoangiogeneza (neowaskularyzacja)

Jest to proces powstawania nowych naczyń włosowatych. Pierwsze eksperymenty, które miały za zadanie dowieść skuteczności działania dwutlenku węgla na neowasularyzację przeprowadzone zostały

w 1930 r. Wykazały one silne właściwości rozszerzające naczynia krwionośne oraz zapoczątkowanie tworzenia się nowych naczyń. Eksperymenty dowiodły, że za proces neoangiogenezy odpowiedzialny jest naczyniowo – śródbłonkowy czynnik wzrostu VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor), który jest najsilniejszym i najbardziej swoistym czynnikiem wzrostu komórek śródbłonka. Inicjuje on angiogenezę i waskulogenezę, oraz indukuje zwiększenie przepuszczalności naczyń krwionośnych. VEGF wspomaga reakcję migracji białek osocza do przestrzeni zewnątrzkomórkowej, prowadząc do zwiększenia unaczynienia okolicznych tkanek [Borowska, 2015].

Lista przeciwwskazań do wykonania zabiegu

- ciąża i karmienie piersią,
- nieleczone nadciśnienie tętnicze,
- poważnie nasilona niedokrwienna choroba serca,
- niewydolność nerek,
- udar,
- zapalenie zakrzepowe żył
- ostre infekcje przebiegające z gorączką
- ostra zatorowość
- gangrena
- poważna nadwaga (stan po konturowaniu ciała)
- zakrzepica
- inne przeciwwskazania obejmują nierealistyczne oczekiwania ze strony pacjenta i zaawansowany wiek [Zelenková, Stracenská, 2009; Drogovoz i in., 2019].

Najczęstsze objawy uboczne

Objawy uboczne zabiegu są na ogół związane z jego specyfiką i techniką aplikacji gazu. Najczęstsze z nich to ból i uczucie rozpierania w miejscu aplikacji gazu. Objawy te spowodowane są ciśnieniem z jakim podawany jest dwutlenek węgla do tkanki a także jego niższą, niż w tkance temperaturą Kolejnym powodem odczuwania niewielkiego dyskomfortu może być też samo wkłucie igły w tkankę. Rumień w miejscu podania jest wynikiem zainicjowania lokalnego stanu zapalnego wywołanego śródskórną iniekcją dwutlenku węgla i jest naturalną konsekwencją działania dwutlenku węgla w obszarze zabiegowym. Wynika on również z intensywnego dotlenienia obszaru zabiegowego [Drogovoz i in., 2019].

Niewielkie krwiaki są zwykle efektem uszkodzenia naczynia krwionośnego podczas wprowadzenia igły w tkankę. Mała głębokość wkłuć, która wymagana jest podczas wykonania procedury nie powoduje ryzyka uszkodzenia kluczowych i strategicznie ważnych naczyń krwionośnych. Niewielki krwiak lub siniak to częsty objaw uboczny, jednak nie stanowi on podstaw do rezygnacji z zabiegów. Krepitacje to kolejny objaw uboczny towarzyszący zabiegowi karboksyterapii. Są to wyczuwalne „trzeszczenia" w okolicy podania gazu. Stan taki może utrzymywać się do kilku godzin. Zabiegom w okolicy jamy brzusznej może towarzyszyć uczucie wzdęcia oraz zwiększenie obwodu brzucha bezpośrednio po podaniu gazu [Drogovoz i in., 2019].

ZAKOŃCZENIE

Karboksyterapia to terapia dwutlenkiem węgla podanym iniekcyjnie. Czynnikiem aktywnym w karboksyterapii jest dwutlenek węgla, który jest wstrzykiwany bezpośrednio do tkanki podskórnie lub śródskórnie, za pomocą cienkiej igły. Natychmiastową reakcją po podaniu gazu jest silne rozszerzenie naczyń krwionośnych, zwiększenie przepływu krwi w obszarze podania. W kosmetologii i medycynie estetycznej stosowana jest jako remedium na wiele defektów skórnych oraz redukcję tkanki tłuszczowej. Porównanie karboksyterapii z innymi równie skutecznymi metodami wypada korzystnie ze względu na brak powikłań w postaci zmian podskórnych, blizn oraz krótki czas rekonwalescencji po zabiegu. Karboksyterapia jest dobrze tolerowana przez pacjentów, czas rekonwalescencji po za-

biegu bardzo krótki a ryzyko powikłań po zabiegu jest znikome. Dodatkowo zabieg ten nie wymaga znieczulenia, co jest jego niewątpliwą zaletą, ponieważ wyklucza ryzyko wystąpienia powikłań spowodowanych zastosowaniem miejscowej anestezji. Dyskomfort odczuwany przez klientów w trakcie karboksyterapii jest stosunkowo niewielki i na ogół dobrze przez nich tolerowany. Wszystkie te czynniki sprawiają, że potencjał karboksyterapii w medycynie i kosmetologii jest bardzo duży.

Rozwój technologii a także coraz szersza dostępność nowoczesnych, bezpiecznych urządzeń do karboksyterapii minimalizujących ryzyko powikłań po zabiegowych i znacznie poprawiających komfort pacjenta w trakcie zabiegu, sprawiają, że zainteresowanie terapią wciąż rośnie.

BIBLIOGRAFIA

Ahmed N.A., Mohammed S.S., Fatani M.I., 2019: *Treatment of periorbital dark circles: Comparative study of carboxy therapy vs chemical peeling vs mesotherapy*. J Cosmet Dermatol. 2019 Feb; 18 (1): 169–175

Borowska M., 2015: *Karboksyterapia- potencjał CO2*. Polska Kosmetologia i kosmetyka, Kosmetologia Estetyczna, 4, 2015, 375

Chaudhuri K., Storey E., Lee G.A., Bailey M., Chan J., Rosenfeldt F.L., Pick A., Negri J., Gooi J., Zimmet A., Esmore D., Merry C., Rowland M., Lin E., Marasco S.F., 2012: *Carbon dioxide insufflation in open-chamber cardiac surgery: a double-blind, randomized clinical trial of neurocognitive effects*. J Thorac Cardiovasc Surg. 144:646–653.

Chernyh V.P., Drogovoz S.M., Zupanec I.A., 2017: *Karboksiterapiya – stil' off label use (lekarstva vne instrukcii).* Vrachebnoe delo. № 5–6. P. 112–117.

De La Casa Almeida M., Serrano C.S., Roldan J.R. et al., 2013: *Cellulite`s etiology: review* J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol. Vol. 27, N 3. P. 273–276.

Drogovoz S.M., Kononenko A.V., Zelenkova H., Drogovoz K.V., Ivatsyk L.B., 2019: *Medical possibilities of carboxytherapy for cellulite*. Likars'ka Sprava, (5-6), 88-93.

Fioramonti P., Fallico N., Parisi P., Scuderi N., 2012: *Periorbital area rejuvenation using carbon dioxide therapy*. Journal of Cosmetic Dermatology, 11, s.223-228

Gençpınar T, Akkaya G., Bilen Ç., Akokay P., Yılmaz O., Çatalyürek H., 2018: *Effects of carbon dioxide insufflation on anastomosis remodeling at a carotid artery site in rabbits*. Kardiochir Torakochirurgia Pol. 2018 Sep;15(3):170-175.

Kroumpouzos G., Arora G., Kassir M., Galadari H., Wollina U., Lotti T., Grabbe S., Goldust M., 2022: *Carboxytherapy in dermatology*. Clinics in Dermatology, Volume 40, Issue 3, Pages 305-309,ISSN 0738-081X,

Pianez L.R., Custódio F.S., Guidi R.M., de Freitas J.N., Sant'Ana E., 2016: *Effectiveness of carboxytherapy in the treatment of cellulite in healthy women: a pilot study*. Clin Cosmet Investig Dermatol. 2016 Aug 22;9:183-90

Pinheiro N.M., Crema V.O., Millan B.M., Carvalho F.A., Mendonça A.C., 2015: *Comparison of the effects of carboxytherapy and radiofrequency on skin rejuvenation*. J Cosmet Laser Ther. 2015 Jun; 17 (3): 156–61

Ruprich M., 2018: *Zastosowanie karboksyterapii w redukcji tkanki tłuszczowej oraz niwelowaniu rozstępów*, „Kosmetologia estetyczna", 2/2018/vol.7

Sun Y., Ji B., Zhu X., Zheng Z., 2013: Efficacy of carbon dioxide insufflation for cerebral and cardiac protection during open heart surgery: a systematic review and meta-analysis. Artificial Organs. 2013; 37: 439–446.

Trznadel-Grodzka E., Kaszuba A., 2016: *Etiopatogeneza procesu starzenia skóry,* Dermatologia Geriatryczna, A. Kaszuba, J. Szepietowski, Z. Adamski (red.), wyd. I, Wydawnictwo Czelej, Lublin, s.21–24

Yakovenko L.A., 2014: *Mediko-social'nye aspekty razvitiya ginoidnoj lipodistrofii u zhenshchin reproduktivnogo vozrasta i puti profilaktyki*. Avtoref. dis. … kand. med. nauk. – Voronezh, 2014. – 21 p

Zelenková H., Stracenská J., 2009: *Carboxytherapy: A non-invasive Method in Aesthetic Medicine and Dermatology*. Jap Soc Aesth Surg, 46(1), s.12-16