

To cite this article:

Jedliński Adam, Rostkowski Gabriel, Bednarz Jakub, Gründemann Karina, Kus-Bartoszek Agnieszka, Wdowiak-Szymanik Aleksandra, Jarząbek Anna: Zmienność grubości linii neonatalnej w zależności od czynników prenatalnych i okołoporodowych – przegląd piśmiennictwa. Variability of neonatal line thickness in relation to prenatal and perinatal factors – a literature review.

Nowa Stomatol/New Dentistry Journal 2026;31(3):167-176. DOI: 10.25121/NS.2026.31.3.167

To link to this article:

<https://doi.org/10.25121/NS.2026.31.3.167>

*ADAM JEDLIŃSKI¹, GABRIEL ROSTKOWSKI¹, JAKUB BEDNARZ¹, KARINA GRÜNDEMANN¹,
AGNIESZKA KUS-BARTOSZEK², ALEKSANDRA WDOWIAK-SZYMANIK², ANNA JARZĄBEK²

Zmienność grubości linii neonatalnej w zależności od czynników prenatalnych i okołoporodowych – przegląd piśmiennictwa

Variability of neonatal line thickness in relation to prenatal and perinatal factors – a literature review

¹Student Scientific Society, Independent Unit of Pediatric Dentistry, Pomeranian Medical University in Szczecin

Head of Unit: Anna Jarząbek, MD, PhD

Studenckie Koło Naukowe przy Samodzielnej Pracowni Stomatologii Dziecięcej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Kierownik Pracowni: dr n. med. Anna Jarząbek

²Independent Unit of Pediatric Dentistry, Pomeranian Medical University in Szczecin

Head of Unit: Anna Jarząbek, MD, PhD

Samodzielna Pracownia Stomatologii Dziecięcej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Kierownik Pracowni: dr n. med. Anna Jarząbek

SŁOWA KLUCZOWE:

linia neonatalna, amelogeneza, czynniki przedporodowe, czynniki okołoporodowe

STRESZCZENIE

Linia neonatalna (NNL) jest wyraźną strukturą histologiczną szkliwa i zębiny, stanowiącą biologiczny marker przejścia z życia prenatalnego do postnatalnego. Jej grubość i morfologia odzwierciedlają zaburzenia funkcjonowania ameloblastów wywołane stresem metabolicznym, niedotlenieniem oraz zmianami hormonalnymi towarzyszącymi okresowi okołoporodowemu. Celem niniejszego przeglądu jest przedstawienie aktualnej wiedzy dotyczącej zmienności grubości linii neonatalnej oraz identyfikacja prenatalnych i okołoporodowych czynników wpływających na jej szerokość. Analiza dostępnych badań wskazuje, że na szerokość linii neonatalnej wpływają m.in. choroby przewlekłe matki (cukrzyca ciążowa, nadciśnienie), spożycie alkoholu, stosowanie leków rozkurczowych, niedobory witaminy D i mikroelementów, stres psychospołeczny oraz pora roku, w której dziecko przyszło na świat. Do najważniejszych czynników okołoporodowych należą: sposób porodu, czas jego trwania oraz interwencje medyczne po urodzeniu dziecka. Grubsza linia neonatalna zazwyczaj koreluje z większym obciążeniem stresem metabolicznym płodu, natomiast cieńszą obserwuje się przy mniejszej intensywności czynników stresowych. Zmienność linii neonatalnej zależy również od typu zęba oraz płci dziecka. Zgromadzone dane wskazują, że linia neonatalna jest czułym biomarkerem warunków rozwoju wewnątrzmacicznego i okołoporodowego, a jej analiza może stanowić cenne narzędzie w badaniach pediatrycznych, antropologicznych i w odontologii sądowej.

KEYWORDS:

neonatal line, amelogenesis, prenatal factors, perinatal factors

SUMMARY

The neonatal line (NNL) is a distinct histological feature of enamel and dentin that serves as a biological marker of the transition from prenatal to postnatal life. Its thickness and morphology reflect disturbances in ameloblast function caused by metabolic stress, hypoxia, and hormonal changes associated with the perinatal period. The aim of this literature review is to summarize the current evidence regarding the variability in neonatal line thickness and to identify prenatal and perinatal factors influencing its width. Analysis of the available literature indicates that neonatal line thickness is affected by several maternal and prenatal factors, including chronic maternal diseases (gestational diabetes mellitus and hypertension), alcohol consumption, the use of tocolytic medications, vitamin D and micronutrient deficiencies, psychosocial stress, and the season of birth. The most important perinatal determinants include the mode of delivery, the duration of labor, and medical interventions performed after birth. A wider neonatal line is generally associated with greater fetal metabolic stress, whereas a narrower neonatal line is observed in association with lower exposure to stress-related factors. Variability in neonatal line thickness has also been reported to depend on tooth type and the child's sex. The available evidence suggests that the neonatal line is a sensitive biomarker of prenatal and perinatal developmental conditions, and its analysis may represent a valuable tool in pediatric research, biological anthropology, and forensic odontology.

WSTĘP

Na proces rozwoju zębów wpływają różne czynniki, na które narażony jest rozwijający się organizm dziecka podczas życia płodowego oraz w pierwszych latach życia. W szkliwie zęba można zaobserwować linię, która powstaje w momencie narodzin dziecka — tzw. linię neonatalną (ang. *neonatal line* – NNL). Określenie to zostało po raz pierwszy użyte w 1946 roku przez Gustafsona i Sundströma i oznacza granicę pomiędzy szkliwem wytworzonym przed urodzeniem (prenatalnym) a tym wytworzonym po urodzeniu (postnatalnym) (1).

Pod mikroskopem NNL jest silnie wybarwioną, grubą linią przewyższającą intensywnością inne linie przyrostowe Retziusa (1-3). Podczas porodu i w okresie okołoporodowym organizm noworodka doświadcza fizjologicznego, lecz silnego stresu – zmieniają się ciśnienie, temperatura, sposób oddychania, odżywiania oraz inne parametry metaboliczne. Ten stres tymczasowo zaburza pracę wrażliwych na zmianę warunków ameloblastów, co prowadzi do przerwania i zmiany rytmu mineralizacji szkliwa (3, 4) i zostaje utrwalone jako linia neonatalna (2, 5, 6). Szkliwo prenatalne jest lepiej zorganizowane i bardziej jednorodne niż postnatalne (3). Linię neonatalną można zaobserwować w zębach mlecznych oraz pierwszych zębach trzonowych stałych, tj. w zębach, których proces mineralizacji zaczyna się przed urodzeniem i jest kontynuowany w okresie poporodowym. Najbardziej zauważalna jest jednak w zębach pierwszych trzonowych stałych oraz mlecznych siekaczach przyśrodkowych (1, 2).

Proces odontogenezy, czyli rozwoju zęba, rozpoczyna się w 6.-7. tygodniu życia płodowego i przebiega przez etapy: inicjacji, pączka, czapeczki, dzwonu, formowania tkanek twardych i korzenia. W stadium inicjacji dochodzi do proliferacji nabłonka jamy ustnej i powstania blaszki zębowej, co związane jest m.in. z ekspresją białka BMP (3). W stadium pączka (8.-9. tydzień) formują się pączki zębowe oraz zawiązki zębów stałych (3, 6). W stadium czapeczki (9.-10.

INTRODUCTION

Tooth development is influenced by a variety of factors affecting the developing child during fetal life and throughout the first years after birth. One of the characteristic histological features observed in dental enamel is the neonatal line (NNL), which is formed at the time of birth. The term was first introduced by Gustafson and Sundström in 1946 and refers to the boundary between enamel formed before birth (prenatal enamel) and that formed after birth (postnatal enamel) (1).

Histologically, the neonatal line appears as a prominent, intensely stained incremental line that is considerably more pronounced than the surrounding striae of Retzius (1-3). During labor and the early perinatal period, the newborn is exposed to substantial physiological stress associated with abrupt changes in pressure, temperature, respiration, nutrition, and other metabolic processes. This transient stress disrupts the function of ameloblasts, which are highly sensitive to environmental changes, resulting in a temporary interruption and alteration of enamel mineralization (3, 4). These developmental disturbances become permanently recorded as the neonatal line (2, 5, 6). Prenatal enamel is generally more highly organized and structurally homogeneous than postnatal enamel (3). The neonatal line is present in primary teeth and first permanent molars, as mineralization of these teeth begins prenatally and continues after birth. It is particularly distinct in the primary central incisors and the permanent first molars (1, 2).

Odontogenesis begins during the sixth to seventh week of intrauterine development and proceeds through the stages of initiation, bud, cap, bell, hard tissue formation, and root development. During the initiation stage, proliferation of the oral epithelium leads to the formation of the dental lamina, a process regulated in part by the expression of bone morphogenetic proteins (BMPs) (3). During the bud stage (weeks 8-9 of gestation), tooth buds and the primordia

tydzień) powstaje narząd szkliwotwórczy, brodawka zębowa oraz woreczek zębowy (3, 6). Powstawanie twardych tkanek zęba jest procesem złożonym. Tworzenie zębiny (dentinogeneza) rozpoczyna się w 13.-14. tygodniu życia płodowego na szczycie przyszłego guzka korony (6). Najpierw dochodzi do indukcji odontoblastów (3), następnie wydzielania przezębiny, a później jej mineralizacji (3, 6). Równocześnie zaczyna tworzyć się pochewka Hertwiga odpowiedzialna za kształtowanie korzenia i cementogenezę (3, 6). Proces amelogenezy rozpoczyna się około 14. tygodnia ciąży (3) i obejmuje fazę sekrecyjną, przejściową i dojrzewania. W fazie sekrecyjnej ameloblasty wydzielają amelogeninę, ameloblastynę i enamelinę. W fazie przejściowej zmniejsza się aktywność wydzielnicza komórek (5). W fazie dojrzewania ameloblasty usuwają białka organiczne i transportują jony mineralne, co prowadzi do ostatecznego utwardzenia struktury szkliwa (4, 5).

W ostatnim czasie linia neonatalna stała się obiektem zainteresowania stomatologów dziecięcych, lekarzy sądowych i antropologów. Może być biologicznym markerem stresu, zaburzeń metabolicznych, przebiegu ciąży, a nawet rodzaju porodu. Wymiary NNL można wykorzystać do oceny stanu zdrowia dziecka.

CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest przegląd literatury dotyczącej zmienności grubości linii neonatalnej w kontekście czynników prenatalnych i okołoporodowych. Analizie poddano badania opisujące zależności między wybranymi parametrami środowiska matczynego i porodowego a morfologią tej struktury zębowej. Praca ma na celu uporządkowanie wiedzy w tym obszarze oraz wskazanie potencjalnych kierunków dalszych badań.

MATERIAŁ I METODY

Przeglądu literatury dokonano niezależnie przez czterech autorów (A.J., G.R., K.G., J.B.) w okresie od lipca do października 2025 roku. Przeszukano elektroniczne medyczne bazy danych: PubMed, Scopus oraz Web of Science. Strategia wyszukiwania opierała się na zastosowaniu słów kluczowych w języku angielskim: „neonatal line in teeth”.

Wpisanie do wymienionych powyżej baz danych podstawowego hasła „neonatal line in teeth” dało wyjściowo 118 pozycji bibliograficznych. Po weryfikacji tytułów i streszczeń, usunięciu powtórzeń oraz analizie pełnych tekstów do ostatecznego przeglądu włączono 16 kluczowych pozycji piśmiennictwa, które bezpośrednio odnosiły się do tematu zmienności grubości NNL pod wpływem analizowanych czynników (ryc. 1).

WYNIKI

W tabelach 1 i 2, utworzonych na podstawie danych z literatury, przedstawiono poszczególne czynniki prenatalne i okołoporodowe wpływające na wymiary linii neonatalnej (NNL).

of the permanent dentition are formed (3, 6). The cap stage (weeks 9-10) is characterized by the development of the enamel organ, dental papilla, and dental follicle (3, 6). Formation of the mineralized dental tissues is a complex developmental process. Dentinogenesis begins during the 13th-14th week of gestation at the future cusp tip of the crown (6). This process involves odontoblast differentiation, secretion of predentin, and its subsequent mineralization (3, 6). At approximately the same time, Hertwig's epithelial root sheath begins to develop, directing root formation and cementogenesis (3, 6). Amelogenesis begins at approximately the 14th week of gestation (3) and consists of the secretory, transitional, and maturation stages. During the secretory stage, ameloblasts synthesize and secrete enamel matrix proteins, including amelogenin, ameloblastin, and enamelin. During the transitional stage, the secretory activity of ameloblasts decreases (5). Finally, during the maturation stage, ameloblasts remove organic matrix proteins while transporting mineral ions into the enamel matrix, resulting in complete mineralization and hardening of the enamel structure (4, 5).

In recent years, the neonatal line has attracted increasing interest among pediatric dentists, forensic scientists, and biological anthropologists. It has been recognized as a potential biological marker of physiological stress, metabolic disturbances, prenatal development, and perinatal events, including the mode of delivery. Consequently, quantitative assessment of the neonatal line may provide valuable information regarding the developmental conditions and early health status of the child.

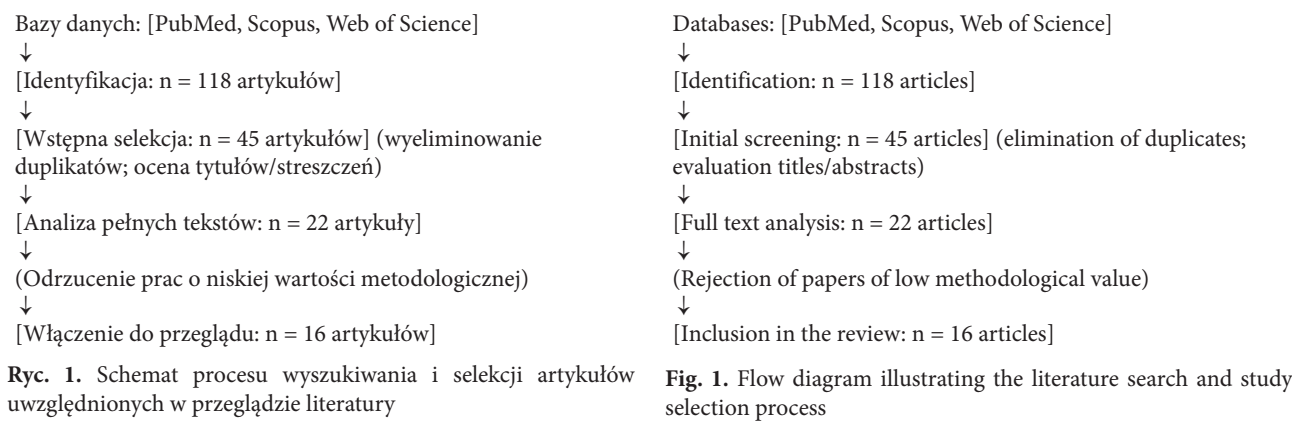
AIM

The aim of this review is to summarize the current evidence regarding the variability in neonatal line (NNL) thickness in relation to prenatal and perinatal factors. The reviewed studies examined the associations between selected maternal, prenatal, and perinatal variables and the morphology of this unique dental structure. This review also seeks to consolidate the available evidence and identify potential directions for future research.

MATERIAL AND METHODS

The literature review was conducted independently by four authors (A.J., G.R., K.G., and J.B.) between July and October 2025. Electronic searches were performed in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases. The search strategy was based on the English-language keyword “neonatal line in teeth”.

The initial search using the keyword “neonatal line in teeth” yielded 118 records across the selected databases. After screening titles and abstracts, removing duplicate records, and assessing the full-text articles for eligibility, 16 publications were included in the final review. These studies were considered the most relevant because they directly addressed the variability in neonatal line thickness in relation to the prenatal and perinatal factors investigated (fig. 1).



Tab. 1. Zmiany grubości NNL pod wpływem różnych czynników prenatalnych

Czynnik	Mechanizm	Wpływ na NNL	Wymiar (µm)
Wartość prawidłowa	–	–	Średnia grubość NNL w próbkach kontrolnych (bez znanych stresorów): ok. 12 µm ± 1,6 µm Zakres typowej, fizjologicznej grubości: od 10,5 µm do 14 µm (3, 15)
Stosowanie drotaweryny (leki rozkurczowe)	Drotaweryna → relaksacja mięśni gładkich naczyń łóżyskowych przez hamowanie fosfodiesterazy → ↑ cAMP → zmieniony transport i wnikanie Ca ²⁺ do komórek ameloblastów → obniżona sekrecja i mineralizacja szkliwa	Cieńsza linia NNL	Średnia z-score: – bez leków: 0,22 ± 0,94 – z lekiem: -0,44 ± 0,78 t = -2,73; p = 0,01 (7)
Pora roku narodzin (wiosna/lato)	Mniej UVB → mniej witaminy D → osłabiona mineralizacja szkliwa	Cieńsza linia NNL	Średnie z-score: – wiosna: -0,26 ± 0,88 – lato: -0,29 ± 0,75 – jesień: 0,13 ± 0,74 – zima: 0,65 ± 1,16 F = 3,34; p = 0,03 (7)
Spożycie alkoholu w ciąży	Stres oksydacyjny, zaburzenia mitochondrialne i wapniowo-fosforanowe u płodu	Grubsza linia NNL	± 16,29 µm (8)
Cukrzyca ciążowa/nadciśnienie tętnicze	Przewlekłe niedotlenienie, stres oksydacyjny, zaburzenia perfuzji łożyskowej	Grubsza linia NNL	(9)
Stres psychospołeczny matki (niski status socjoekonomiczny)	Neuroendokrynne zaburzenia regulacji wzrostu ameloblastów	Grubsza linia NNL	Ciężka depresja w wywiadzie w przeszłości – grubsza o 3,31 Zaburzenia jakiegokolwiek w przeszłości – 2,57 Objawy depresji lęku w 32. tyg. – grubsza 2,62 (10, 14)
Stabilna sytuacja socjoekonomiczna	Brak przewlekłego stresu → prawidłowa funkcja ameloblastów	Cieńsza linia NNL	(10, 14)
Niedobory mikroelementów (Ca, Zn, Sr)	Zaburzenia mineralizacji i różnicowania ameloblastów	Zmienna/grubsza linia NNL	(9)
Typ zęba (siekacze vs. kły)	Różnice w aktywności metabolicznej i tempie wzrostu szkliwa	Wyraźniej cieńsza NNL	(3, 15)
Płeć dziecka (dziewczynki vs. chłopcy)	Różnice hormonalne i tempa wzrostu tkanek	Zmienna – zależna od płci	(6, 7, 16)

Tab. 1. Changes in NNL thickness under the influence of various prenatal factors

Factor	Mechanism	Impact on NNL	Dimension (μm)
Correct value	–	–	Average NNL thickness in control samples (without known stressors): approx. $12 \mu\text{m} \pm 1.6 \mu\text{m}$ Typical physiological thickness range: $10.5 \mu\text{m}$ to $14 \mu\text{m}$ (3, 15)
Use of drotaverine (antispasmodic drugs)	Drotaverine $\rightarrow$ relaxation of vascular smooth muscles by inhibiting phosphodiesterase $\rightarrow \uparrow$ cAMP $\rightarrow$ altered transport and entry of Ca^{2+} into ameloblast cells $\rightarrow$ reduced secretion and mineralization of enamel	NNL thinner line	Average z-score: – without medication: 0.22 ± 0.94 – with medication: -0.44 ± 0.78 $t = -2.73$; $p = 0.01$ (7)
Season of birth (spring/summer)	Less UVB $\rightarrow$ less vitamin D $\rightarrow$ weakened enamel mineralization	NNL thinner line	Average z-score: – spring: -0.26 ± 0.88 – summer: -0.29 ± 0.75 – autumn: 0.13 ± 0.74 – winter: 0.65 ± 1.16 $F = 3.34$; $p = 0.03$ (7)
Alcohol consumption during pregnancy	Oxidative stress, mitochondrial and calcium-phosphate disorders in the fetus	NNL thicker line	$\pm 16.29 \mu\text{m}$ (8)
Gestational diabetes/hypertension	Chronic hypoxia, oxidative stress, placental perfusion disorders	NNL thicker line	(9)
Maternal psychosocial stress (low socioeconomic status)	Neuroendocrine disorders of ameloblast growth regulation	NNL thicker line	History of severe depression in the past – approximately 3.31 Any disorders in the past – 2.57 Symptoms of depression and anxiety at week 32 – roughly 2.62 (10, 14)
Stable socioeconomic situation	Absence of chronic stress $\rightarrow$ Normal ameloblast function	NNL thinner line	(10, 14)
Micronutrient deficiencies (Ca, Zn, Sr)	Impaired ameloblast mineralization and differentiation	Variable/thicker NNL line	(9)
Tooth type (incisors vs. canines)	Differences in metabolic activity and enamel growth rate	Noticeably thinner NNL	(3, 15)
Child's gender (girls vs. boys)	Hormonal and tissue growth rate differences	Variable – dependent on gender	(6, 7, 16)

DYSKUSJA

Czynniki prenatalne

Czynniki prenatalne, oddziałujące na rozwijający się w organizmie matki płód, mają fundamentalne znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesów histogenezy, w tym amelogenezy. Zmienność linii neonatalnej (NNL) w szkliwie zębów mlecznych oraz pierwszych zębów trzonowych stałych jest czułym wskaźnikiem zakłóceń, które pojawiają się w środowisku wewnątrzmacicznym i odzwierciedla ich fizjologiczne konsekwencje. Na szerokość i widoczność linii neonatalnej w okresie prenatalnym wpływają m.in.: choroby matki w okresie ciąży, jej stres, niedożywienie i leki

RESULTS

Tables 1 and 2 summarize the prenatal and perinatal factors reported in the literature to influence the dimensions of the neonatal line (NNL).

DISCUSSION

Prenatal factors

Prenatal factors affecting the developing fetus play a fundamental role in ensuring the proper course of histogenesis, including amelogenesis. Variability in the neonatal line (NNL) observed in the enamel of primary teeth and permanent first molars is a sensitive indicator of disturbances

Tab. 2. Zmiany grubości NNL pod wpływem różnych czynników okołoporodowych

Czynnik	Mechanizm	Wpływ na NNL
Przedłużony poród	Ekspozycja płodu na hipoksję, hipoglikemię oraz podwyższony poziom kortyzolu i katecholamin. Prowadzi to do stresu metabolicznego ameloblastów, zaburzenia ich homeostazy wapniowo-fosforanowej i zmniejszenia aktywności enzymatycznej, co z kolei spowalnia amelogenezę i wydłuża proces mineralizacji	Węższa linia neonatalna (9-11)
Reanimacja bezpośrednio po porodzie	Intensywny, ale krótkotrwały stres metaboliczny wywołujący czasową hipoksję ameloblastów. Dzięki szybkiej interwencji zakłócenie homeostazy komórek szkliva jest tylko chwilowe i szybko wraca do normy	Węższa linia neonatalna (10)
Poród siłami natury (naturalny)	Fizyczny ucisk przy przechodzeniu przez kanał rodny, przejściowa hipoksja i wzrost poziomu hormonów stresu. Potęguje to stres metaboliczny, powodując gwałtowne zahamowanie aktywności ameloblastów	Grubsza linia neonatalna (4)
Cięcie cesarskie	Eliminacja ucisku kanału rodnego, brak występowania hipoksji i wzrostu poziomu hormonów stresu. Skutkuje to niższym stresem metabolicznym i mniejszym zakłóceniem homeostazy komórek szkliva	Węższa linia neonatalna (12)
Wsparcie matki po porodzie (stabilność emocjonalna)	Stabilność emocjonalna matki i mniejsze nasilenie reakcji stresowej pozytywnie modulują stan homeostazy ameloblastów u dziecka. Pozwala to na prawidłowy i ciągły przebieg procesu mineralizacji szkliva	Węższa linia neonatalna (13)

Tab. 2. Changes in NNL thickness under the influence of various perinatal factors

Factor	Mechanism	Impact on NNL
Prolonged labor	Fetal exposure to hypoxia, hypoglycemia, and elevated cortisol and catecholamine levels leads to metabolic stress in ameloblasts, disrupting their calcium-phosphate homeostasis, and reducing enzymatic activity, which in turn slows amelogenesis and prolongs the mineralization process	Thinner neonatal line (9-11)
Resuscitation immediately after birth	Intense but short-term metabolic stress causes temporary ameloblast hypoxia. With rapid intervention, the disruption of enamel cell homeostasis is only temporary and quickly returns to normal	Thinner neonatal line (10)
Vaginal childbirth (natural)	The physical pressure of passing through the birth canal, transient hypoxia, and increased stress hormone levels exacerbate metabolic stress, causing a rapid inhibition of ameloblast activity	Thicker neonatal line (4)
Caesarean section	Elimination of birth canal pressure, absence of hypoxia, and absence of increased stress hormone levels. This results in lower metabolic stress and less disruption of enamel cell homeostasis	Thinner neonatal line (12)
Postpartum mother support (emotional stability)	Maternal emotional stability and a reduced stress response positively modulate the homeostasis of the child's ameloblasts. This allows for the proper and continuous process of enamel mineralization	Thinner neonatal line (13)

stosowane przez nią w tym okresie, używki oraz sytuacja socjoekonomiczna.

Kurek i wsp. (2015) wykazali, że stosowanie leków rozkurczowych, takich jak drotaweryna, w trzecim trymestrze ciąży było skorelowane z istotnym zmniejszeniem grubości linii neonatalnej. Mechanizm tego zjawiska tłumaczy się ograniczeniem przepływu krwi przez łożysko na skutek relaksacji mięśni gładkich, co prowadzi do zmniejszonej biodostępności wapnia oraz obniżonej intensywności funkcji sekrecyjnej ameloblastów. W tym samym badaniu odnotowano także zależność zmian NNL od pory roku urodzenia – dzieci urodzone wiosną i latem miały cieńsze linie neonatalne. Autorzy powiązali to z różnicami w ekspozycji na promieniowanie UVB i syntezie witaminy D, niezbędnej do prawidłowej mineralizacji szkliva oraz regulacji ekspresji genów ameloblastów (7).

occurring within the intrauterine environment and reflects their physiological consequences. The thickness and visibility of the neonatal line are influenced by numerous prenatal factors, including maternal diseases during pregnancy, psychosocial stress, malnutrition, medications used during gestation, substance use, and socioeconomic conditions.

Kurek et al. (2015) demonstrated that the use of antispasmodic medications, such as drotaverine, during the third trimester of pregnancy was significantly associated with reduced neonatal line thickness. The proposed mechanism involves decreased uteroplacental blood flow resulting from smooth muscle relaxation, leading to reduced calcium bioavailability and diminished secretory activity of ameloblasts. In the same study, neonatal line thickness was also found to vary according to the season of birth, with children born during spring and summer exhibiting thinner neonatal lines.

Natomiast Behie i Miskiewicz (2019) wykazali wpływ umiarkowanego spożywania alkoholu w drugim i trzecim trymestrze ciąży przez matkę na poszerzenie linii neonatalnej (8). Alkohol wywołuje stres oksydacyjny, powoduje zaburzenia mitochondrialne oraz rozregulowuje gospodarkę wapniowo-fosforanową u płodu. Te czynniki ograniczają funkcje ameloblastów, co prowadzi do zwiększenia grubości linii. Pogrubienie NNL w szkliwie dzieci, których matki w okresie ciąży chorowały na cukrzycę ciążową i nadciśnienie tętnicze, wykazali również Hurnanen i wsp. (2023). Niedotlenienie płodu, wzmożona produkcja wolnych rodników i zaburzenia perfuzji łożyskowej w tych stanach patologicznych skutkowały według autorów poszerzeniem linii neonatalnej. Potwierdzają to badania mikroskopowe, wskazując, że linia neonatalna może być objawem zaburzeń homeostazy na etapie prenatalnym (9).

Kolejnym czynnikiem wpływającym na rozmiar linii neonatalnej jest stres psychospołeczny, którego doświadczają ciężarne kobiety. Według Hassett i wsp. (2020) niepewność ekonomiczna, brak wsparcia społecznego oraz wysoki poziom napięcia psychicznego matek korelowały z grubszą linią neonatalną. Natomiast w grupie kobiet, które były objęte wsparciem i miały stabilną sytuację socjoekonomiczną, autorzy obserwowali cieńszą NNL. Wyniki te wskazują na znaczącą rolę czynników psychospołecznych w modulacji wzrostu szkliwa, chociaż szczegółowe mechanizmy biologiczne wymagają dalszych badań (10). Behie i Miskiewicz (2019) wykazali, że hormony stresu w okresie prenatalnym powodują oksydacyjne uszkodzenie ameloblastów, a przez to zmieniają rozmiar linii neonatalnej (8).

Analizy wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem badań synchrotronowych (9) ujawniły, że zawartość pierwiastków, takich jak wapń, stront czy cynk, w obrębie linii neonatalnej jest zmienna i silnie powiązana z profilami żywieniowymi matek. Deficyty mikroelementów nie tylko ograniczają mineralizację szkliwa, ale mogą również zaburzać prawidłowe różnicowanie ameloblastów, prowadząc do zmian w szerokości NNL (9).

Trzeba podkreślić, że poza czynnikami środowiskowymi i patologicznymi zmienność szerokości i morfologii linii neonatalnej zależy także od zmiennych biologicznych, takich jak typ zęba oraz płeć dziecka. Siekacze charakteryzują się bardziej wyraźnymi i jednorodnymi liniami neonatalnymi w porównaniu z kłami, co może wynikać z różnic w dynamice wzrostu ameloblastów i lokalnej aktywności metabolicznej (3). Ponadto różnice płciowe obserwowane w grubości i strukturze NNL przypisuje się odmiennej regulacji hormonalnej oraz odmiennemu tempu wzrostu tkanek u dziewczynek i chłopców, co stanowi dodatkowy czynnik modulujący przebieg amelogenezy (6, 7).

Czynniki okołoporodowe

Linia neonatalna podlega również działaniu czynników okołoporodowych, a jej wymiary stanowią odzwierciedlenie zmian zachodzących w tym okresie. Różnorodność

The authors attributed this finding to seasonal differences in ultraviolet B (UVB) exposure and vitamin D synthesis, both of which are essential for normal enamel mineralization and the regulation of ameloblast gene expression (7).

In contrast, Behie and Miskiewicz (2019) reported that moderate maternal alcohol consumption during the second and third trimesters of pregnancy was associated with increased neonatal line thickness (8). Alcohol exposure induces oxidative stress, impairs mitochondrial function, and disrupts fetal calcium-phosphate homeostasis. These alterations compromise ameloblast activity and result in a wider neonatal line. Similarly, Hurnanen et al. (2023) demonstrated increased neonatal line thickness in children born to mothers with gestational diabetes mellitus or hypertensive disorders of pregnancy. According to the authors, fetal hypoxia, increased production of reactive oxygen species, and impaired placental perfusion associated with these conditions contribute to widening of the neonatal line. These observations are consistent with microscopic studies suggesting that the neonatal line represents a histological marker of disturbed prenatal homeostasis (9).

Another important determinant of neonatal line morphology is maternal psychosocial stress during pregnancy. Hassett et al. (2020) reported that economic insecurity, limited social support, and elevated psychological stress in pregnant women were associated with increased neonatal line thickness. Conversely, women receiving adequate social support and living under stable socioeconomic conditions tended to have children with thinner neonatal lines. These findings suggest that psychosocial factors play an important role in modulating enamel development, although the precise biological mechanisms remain to be elucidated (10). Behie and Miskiewicz (2019) further proposed that prenatal stress hormones induce oxidative damage to ameloblasts, thereby altering neonatal line thickness (8).

High-resolution synchrotron-based analyses (9) have also demonstrated that the concentrations of elements such as calcium, strontium, and zinc within the neonatal line vary considerably and are strongly associated with maternal nutritional status. Deficiencies of these micronutrients not only impair enamel mineralization but may also interfere with normal ameloblast differentiation, ultimately affecting neonatal line thickness (9).

It should be emphasized that, in addition to environmental and pathological influences, variability in neonatal line thickness and morphology is also affected by biological factors, including tooth type and the child's sex. Primary incisors generally exhibit more distinct and homogeneous neonatal lines than canines, possibly reflecting differences in ameloblast growth dynamics and local metabolic activity (3). Furthermore, sex-related differences in neonatal line thickness and morphology have been attributed to differences in hormonal regulation and tissue growth rates between males and females, representing an additional biological factor influencing the course of amelogenesis (6, 7).

populacyjna NNL związana jest z odmienną intensywnością czynników występujących podczas porodu.

Badania trzech niezależnych od siebie grup badawczych – Hurnanen i wsp. (2023) (9), Hassett i wsp. (2020) (10) oraz Hurnanen i wsp. (2017) (11) – wykazały, że czas trwania porodu jest odwrotnie proporcjonalny do szerokości linii neonatalnej (NNL). Przy przedłużonym porodzie czynniki, na które ekspozycja jest płód (tj. hipoksja, hipoglikemia, podwyższony poziom kortyzolu i katecholamin), prowadzą do silniejszego zahamowania procesów amelogenezy. Narażenie ameloblastów na stres metaboliczny zaburza ich homeostazę wapniowo-fosforanową, a także zmniejsza aktywność enzymatyczną, co przekłada się na spowolnienie procesu tworzenia szkliwa. W konsekwencji prowadzi to do wydłużenia procesu mineralizacji, co skutkuje wytworzeniem węższej linii neonatalnej.

Hassett i wsp. zaobserwowali (10), że rozmiary linii neonatalnej korelują również z podejmowanymi interwencjami medycznymi bezpośrednio po porodzie. Dzieci, które były reanimowane po urodzeniu, posiadały węższą linię neonatalną. Jest to wynikiem intensywnego i krótkotrwałego stresu metabolicznego, w wyniku którego dochodzi do czasowej hipoksji ameloblastów. Szybko podjęta reanimacja sprawia, że homeostaza komórek szkliwa zostaje zakłócona tylko chwilowo i wraca do normy, jednocześnie indukując powstanie węższej linii neonatalnej.

Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na rozmiar linii neonatalnej jest typ porodu. Canturk i wsp. (2014) (2) odnotowali, że średnia grubość linii neonatalnej dziecka urodzonego naturalnie osiągała wyższe wartości niż u dziecka urodzonego drogą cesarskiego cięcia. Wynika to z obecności czynników towarzyszących obu rodzajom porodów. Dziecko, przechodząc przez kanał rodny, doznaje fizycznego ucisku oraz przejściowej hipoksji i wzrostu poziomu hormonów stresu, które potęgują stres metaboliczny. W konsekwencji zahamowanie aktywności ameloblastów jest gwałtowne, co przekłada się na wystąpienie grubszej linii neonatalnej.

Z kolei cesarskie cięcie eliminuje ucisk związany z przechodzeniem przez kanał rodny – hipoksja i wzrost poziomu hormonów stresu nie występują, a zatem stres metaboliczny jest niższy. W wyniku takiego stanu homeostaza komórek szkliwa jest mniej zakłócona, a linia neonatalna jest cieńsza. Eli i wsp. (1989) (12) zwrócili również uwagę na fakt, że trudny poród operacyjny także przyczyniał się do wystąpienia grubszej linii neonatalnej.

Mountain i wsp. (2021) (13) wykazali, że dzieci matek, które były otoczone wsparciem po porodzie, miały węższą linię neonatalną. Stabilność emocjonalna matki jest więc czynnikiem modulującym stan homeostazy ameloblastów. Mniejsze nasilenie reakcji stresowej matek pozwalało na prawidłowy przebieg procesu mineralizacji szkliwa, który przebiegał w sposób ciągły, a linia przybierała węższą formę. Jest to analogiczne do rozmiarów linii neonatalnej u dzieci matek otoczonych opieką i niedoświadczających stresu podczas ciąży.

Perinatal factors

The neonatal line is also influenced by perinatal factors, and its dimensions reflect the physiological changes occurring during this critical developmental period. Population-based variability in neonatal line morphology is largely attributable to differences in the intensity of stressors associated with labor and delivery.

Studies conducted by three independent research groups – Hurnanen et al. (2023) (9), Hassett et al. (2020) (10), and Hurnanen et al. (2017) (11) – demonstrated an inverse relationship between the duration of labor and neonatal line (NNL) thickness. During prolonged labor, fetal exposure to hypoxia, hypoglycemia, elevated cortisol levels, and increased catecholamine release results in more pronounced disruption of amelogenesis. Metabolic stress impairs ameloblast function by disturbing calcium-phosphate homeostasis and reducing enzymatic activity, thereby slowing enamel formation. Consequently, the mineralization process is prolonged, resulting in the formation of a narrower neonatal line.

Hassett et al. (10) also observed that neonatal line thickness was associated with medical interventions performed immediately after birth. Infants who required neonatal resuscitation exhibited thinner neonatal lines. This finding has been attributed to the acute but transient metabolic stress associated with temporary ameloblast hypoxia. Prompt resuscitation rapidly restores cellular homeostasis, resulting in only a short-lived disruption of enamel formation that is subsequently recorded as a narrower neonatal line.

Another important determinant of neonatal line thickness is the mode of delivery. Canturk et al. (2014) (2) reported that children delivered vaginally had significantly thicker neonatal lines than those born by cesarean section. This difference is likely attributable to the physiological stresses associated with vaginal delivery. Passage through the birth canal exposes the fetus to mechanical compression, transient hypoxia, and increased secretion of stress hormones, all of which intensify metabolic stress. The resulting abrupt inhibition of ameloblast activity is reflected by the formation of a thicker neonatal line.

In contrast, cesarean delivery largely avoids the mechanical compression associated with passage through the birth canal and is generally accompanied by lower levels of hypoxia and stress hormone release. Consequently, ameloblast homeostasis is less severely disturbed, resulting in the formation of a thinner neonatal line. Eli et al. (1989) (12) further reported that complicated operative deliveries were likewise associated with increased neonatal line thickness.

Mountain et al. (2021) (13) demonstrated that children born to mothers who received adequate postpartum support exhibited thinner neonatal lines. These findings suggest that maternal emotional well-being during the immediate postpartum period may also influence ameloblast homeostasis. Reduced maternal stress appears to promote uninterrupted enamel mineralization, resulting in a narrower

WNIOSKI

1. Linia neonatalna w szkliwie zębów mlecznych i pierwszych zębów trzonowych stałych jest wartościowym biomarkerem jakości przebiegu życia płodowego. Jej szerokość i morfologia odzwierciedlają kompleksową interakcję czynników prenatalnych – od ekspozycji na leki, przez wpływ chorób metabolicznych i stresu psychospołecznego, po uwarunkowania biologiczne, takie jak typ zęba i płeć dziecka.
2. Wymiary i struktura histologiczna NNL precyzyjnie odzwierciedlają czas trwania porodu oraz jego rodzaj. Obrazują stopień okołoporodowego stresu i dotlenienia płodu.
3. Obecność linii neonatalnej jest dowodem na urodzenie żywego dziecka, co znajduje zastosowanie w odontologii sądowej i antropologii.
4. Analiza NNL stanowi czuły biomarker i, pozwalając na ocenę fizjologicznych konsekwencji środowiska wewnątrzmacicznego, może być wykorzystana w badaniach nad rozwojem i zdrowiem dzieci od najwcześniejszego dzieciństwa.

neonatal line. This observation parallels findings reported for children whose mothers experienced adequate social support and low stress levels during pregnancy.

CONCLUSIONS

1. The neonatal line in the enamel of primary teeth and permanent first molars is a valuable biomarker of prenatal development. Its thickness and morphology reflect the complex interplay of prenatal factors, including exposure to medications, maternal metabolic disorders, psychosocial stress, and biological variables such as tooth type and the child's sex.
2. The dimensions and histological characteristics of the neonatal line accurately reflect both the duration and mode of delivery. Consequently, they provide insight into the degree of perinatal stress and fetal oxygenation during birth.
3. The presence of a neonatal line constitutes histological evidence of live birth, making it a valuable marker in forensic odontology and biological anthropology.
4. As a sensitive biomarker of prenatal and perinatal development, analysis of the neonatal line provides valuable information on the physiological consequences of the intrauterine environment and may serve as an important tool in research on child development and health from the earliest stages of life.

KONFLIKT INTERESÓW CONFLICT OF INTEREST

Brak konfliktu interesów
None

ADRES DO KORESPONDENCJI CORRESPONDENCE:

*Adam Jedliński
ul. Oliwkowa 1, 75-669 Koszalin
tel.: +48 695-144-146
adamjedlinski07@gmail.com

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

1. Gustafson G, Sundstrom B: Studies on the neonatal line in the enamel of human deciduous teeth. *Acta Odontol Scand* 1946; 4: 1-10.
2. Canturk N, Yilmaz Y, Ozen B: Effect of birth process on the neonatal line in the enamel of primary teeth. *Int J Paediatr Dent* 2014; 24(2): 95-103.
3. Nanci A: *Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function*. 9th ed. Elsevier, St. Louis 2017.
4. Simmer JP, Fincham AG: Molecular mechanisms of dental enamel formation. *Crit Rev Oral Biol Med* 1995; 6(2): 84-108.
5. Bartlett JD: Dental enamel development: proteinases and their enamel matrix substrates. *ISRN Dent* 2013; 2013: 1-11.
6. Avery JK, Chiego DJ: *Essentials of Oral Histology and Embryology: A Clinical Approach*. 5th ed. Elsevier, St. Louis 2021.
7. Kurek M, Żądzińska E, Sitek A et al.: Prenatal factors associated with the neonatal line thickness in human deciduous incisors. *Am J Phys Anthropol* 2015; 157(3): 411-420.
8. Behie AM, Miszkiewicz JJ: Enamel as a window into maternal stress: The influence of prenatal alcohol consumption on the neonatal line. *Am J Hum Biol* 2019; 31(3): e23226.
9. Hurnanen J, Kalliala I, Karkamo V et al.: What does tooth enamel tell us of lived lives? A study of the neonatal line and other accentuated lines in human deciduous enamel. *Am J Biol Anthropol* 2023; 180(1): 155-167.
10. Hassett BR, Dean MC, Ring S et al.: Effects of maternal, gestational, and perinatal variables on neonatal line width observed in a modern UK birth cohort. *Am J Phys Anthropol* 2020; 172(2): 314-332.
11. Hurnanen J, Visnapuu V, Sillanpää M et al.: Deciduous neonatal line: Width is associated with duration of delivery. *Forensic Sci Int* 2017; 271: 87-91.
12. Eli I, Sarnat H, Talmi E: Effect of the birth process on the neonatal line in primary tooth enamel. *Pediatr Dent* 1989; 11(3): 220-223.

nadesłano/submitted:

15.07.2026

zaakceptowano do druku/accepted:

05.08.2026

13. Mountain RV, Zhu Y, Pickett OR et al.: Association of maternal stress and social support during pregnancy with growth marks in children's primary tooth enamel. *JAMA Netw Open* 2021; 4(11): e2129129.
14. Hassett BR, FitzPatrick DR, Austin A et al.: Maternal stress, social disadvantage and the thickness of the neonatal line in deciduous teeth. *Am J Phys Anthropol* 2021; 174(1): 111-123.
15. Dean MC: Variation in neonatal line thickness and enamel microstructure in human deciduous teeth. *Arch Oral Biol* 2009; 54(Suppl. 1): S34-S42.
16. Smith TM, Olejniczak AJ, Martin LB et al.: Sexual dimorphism in dental development and enamel formation: A review of enamel histology and implications for sex estimation. *J Hum Evol* 2006; 50(3): 262-279.