

எலும்பு எப்படி ஆறுகிறது, எப்படி மறுவடிவம் பெறுகிறது

இந்தப் பக்கம் இயந்திரத்தால் மொழிபெயர்க்கப்பட்டது; இன்னும் மருத்துவரால் சரிபார்க்கப்படவில்லை.
ஆங்கிலப் பதிப்பே அதிகாரப்பூர்வமானது.

எலும்பு திடமானதாகவும் நிரந்தரமானதாகவும் தோன்றுகிறது; ஆனால் அது செல்களாலும் ரத்தக் குழாய்களாலும் பின்னப்பட்ட ஓர் உயிருள்ள திசு — உங்கள் வாழ்நாளின் ஒவ்வொரு நாளும் அது பிரிக்கப்பட்டு மீண்டும் கட்டப்பட்டுக்கொண்டே இருக்கிறது. உடைந்த ஒரு எலும்பு, முன்பு இருந்த அளவுக்கே வலிமையான ஒன்றாக மீண்டும் ஒட்டிக்கொள்ள முடிவதற்குக் காரணம் சரியாக இதுதான். ஆறுதல் ஒரு கணிக்கக்கூடிய வரிசையைப் பின்பற்றுகிறது; பெரும்பாலானோர் எதிர்பார்ப்பதைவிட அது அதிக காலம் எடுக்கிறது — எனவே அந்த ஒழுங்கைத் தெரிந்துகொண்டால், காத்திருப்பு மிகக் குறைவான கவலையையே தரும். எலும்பு என்றால் என்ன, அது எப்படிக் குணமாகிறது என்பதை இந்தப் பக்கம் எளிய மொழியில் விளக்குகிறது; பிறகு, ஆர்வம் உள்ளவர்களுக்காக, எலும்பு எப்படித் தன்னைத் தானே தொடர்ந்து மறுவடிவமைத்துக்கொள்கிறது, அந்த இயந்திரமே எலும்புக்கு எதிராகத் திருப்பப்படும்போது என்ன நடக்கிறது என்பது உட்பட, உயிரியலுக்குள் நன்கு ஆழமாகச் செல்கிறது.

எலும்பு என்றால் என்ன, அது என்ன செய்கிறது

எலும்பு ஒரே நேரத்தில் பல வேலைகளைச் செய்கிறது. அது உடலின் **சாரக்கட்டு**: உங்களை நிமிர்ந்து நிற்க வைக்கும், உங்களை அசைப்பதற்காகத் தசைகள் இழுத்துக்கொள்ளும் சட்டகம். அது **கவசம்** — மூளையையும் இதயத்தையும் நுரையீரலையும் பாதுகாக்கிறது. மேலும் அது தாதுக்களுக்கான ஒரு **கிடங்கு**; குறிப்பாகக் கால்சியத்திற்கு — அதை உடலின் மற்ற பகுதிகள் தொடர்ந்து எடுத்துக்கொண்டே இருக்கின்றன.

இவை அனைத்தையும் செய்வதற்காக, எலும்பு ஒரு கூட்டுப் பொருளாக — கம்பிகள் போட்ட கான்கிரீட் போல — அமைந்துள்ளது. நெகிழ்வான ஒரு புரதவலை (பெரும்பாலும் **கொலாஜன்** — collagen) முறியாமல் சற்று வளையும் உறுதியை அதற்குத் தருகிறது; அந்த வலைக்குள் அடைக்கப்பட்ட கடினமான ஒரு **தாது** (ஒரு கால்சியம்-பாஸ்பேட் படிகம்) அதற்கு விறைப்பையும் அழுத்தத்தைத் தாங்கும் வலிமையையும் தருகிறது. தாதுவை நீக்கிவிட்டால் எலும்பு ரப்பர் போல ஆகிவிடும்; கொலாஜனை நீக்கிவிட்டால் அது சாக்பீஸ் போல நொறுங்கக்கூடியதாகிவிடும். உங்களுக்கு இரண்டுமே தேவை.

ஆனால் எலும்பு உயிரற்ற ஒரு பொருள் அல்ல. அது உயிருள்ள செல்களால் நிரம்பியது, ரத்தக் குழாய்களால் ஊடுருவப்பட்டது. அதனால்தான் அது முறியும்போது ரத்தம் வருகிறது, அதனால்தான் ஆறுவதற்கு நல்ல ரத்த ஓட்டம் இவ்வளவு முக்கியமாகிறது, அதனால்தான் கீறல் விழுந்த ஒரு மேசையைப் போலன்றி எலும்பு தன்னைத் தானே பழுதுபார்த்துக்கொள்ள முடிகிறது.

முறிந்த ஒரு எலும்பு எப்படி ஆறுகிறது

ஒரு எலும்பு முறியும்போது, ஒன்றோடொன்று மேற்பொருந்தும் கட்டங்களில் அது ஆறுகிறது; அந்தக் கட்டங்கள் இடைவெளியை மீண்டும் திடமான எலும்பாக மாற்றுகின்றன.

- 1. ரத்தக் கட்டி (முதல் சில நாட்கள்).** முறிவு, எலும்புக்குள்ளும் அதைச் சுற்றியும் உள்ள ரத்தக் குழாய்களைக் கிழிக்கிறது; ரத்தம் முறிவிடத்தில் ஒரு கட்டியாக உறைகிறது. இது வெறும் அடைப்பான் அல்ல; பழுதுபார்க்கும் செல்களை வரவழைக்கும் சாரக்கட்டும் சமிக்ஞை மையமும் அதுவே. ஆரம்பத்தில் அந்தப் பகுதி வீங்கி, கன்றிப்போய், வலிப்பதற்கும் இதுவே காரணம்.
- 2. மென் கல்லஸ் (முதல் சில வாரங்கள்).** பழுதுபார்க்கும் செல்கள் உள்ளே வந்து, இடைவெளியின் குறுக்கே குருத்தெலும்பாலும் (cartilage) முதிராத திசுவாலும் ஆன மென்மையான, ரப்பர் போன்ற ஒரு பாலத்தை அமைக்கின்றன. இப்போது எலும்பு இணைந்துவிட்டது, ஆனால் தளர்வாகவே: அந்தப் பாலம் பலவீனமாக இருக்கும்வரை, புதிய ஒரு முறிவுக்குக் கட்டு (cast), பிளவைக்கட்டு (splint) அல்லது அறுவை சிகிச்சை மூலம் பாதுகாப்பு தேவைப்படுவதற்கு இதுவே காரணம்.
- 3. கடின கல்லஸ் (சில வாரங்கள் முதல் ஓரிரு மாதங்கள்).** மென்மையான பாலம் படிப்படியாகக் கடினமான, தாதுப்படிந்த எலும்பால் மாற்றப்படுகிறது; முறிவைச் சுற்றி ஒரு பருமனான பட்டையை (கல்லஸ்) அது உருவாக்குகிறது. இந்தக் கட்டம் முடியும்போது, சாதாரணப் பயன்பாட்டுக்கு எலும்பு பொதுவாகப் போதுமான அளவு திடமாக இருக்கும்.
- 4. மறுவடிவமைப்பு (சில மாதங்கள் முதல் சில ஆண்டுகள்).** கட்டியான கல்லஸ் மெல்ல மெல்லச் செதுக்கப்பட்டு, அழுத்தக் கோடுகளின் திசையில் மறுவடிவம் பெறுகிறது; இறுதியில் எலும்பு முன்பு இருந்தது போலவே தோற்றமளிக்கவும் செயல்படவும் தொடங்குகிறது. குழந்தைகளில் இந்த மறுவடிவமைப்பு மிகச் சிறப்பாக நடைபெறுவதால், சற்றே கோணலாக ஒட்டிய ஒரு முறிவுகூடக் காலப்போக்கில் நேராகிவிடலாம்.

ஆறுதல் உண்மையிலேயே மெதுவானது; அது இயல்பானதுதான். ஒரு தோராயமான வழிகாட்டியாக, பெரியவர்களின் பல எலும்பு முறிவுகள் திடமாக ஒட்ட ஆறு முதல் பன்னிரண்டு வாரங்கள் வரை எடுக்கின்றன; முழு வலிமையைத் திரும்பப் பெற அதைவிட அதிக காலம் ஆகும். வடிவத்தைச் செம்மைப்படுத்தும் மறுவடிவமைப்பு ஓராண்டு அல்லது அதற்கும் மேல் தொடரலாம். இந்தக் கால அட்டவணை எலும்பையும், நபரையும், காயத்தையும் பொறுத்தது; எனவே இவற்றை வாக்குறுதிகளாக அல்ல, வழிகாட்டிகளாகவே எடுத்துக்கொள்ளுங்கள்.

ஆறுவதற்கு எது உதவுகிறது

சில விஷயங்கள் உண்மையிலேயே ஒரு மாற்றத்தை ஏற்படுத்துகின்றன; அவற்றில் பெரும்பாலானவை உங்கள் கட்டுப்பாட்டில் உள்ளவை:

- **ரத்த ஓட்டமும் அசையாத முறிவும்.** முறிந்த முனைகளுக்கு நல்ல ரத்த ஓட்டம் இருக்கும்போதும், அவை போதுமான அளவு அசையாமல் பிடித்து வைக்கப்படும்போதும் எலும்பு சிறப்பாக ஆறுகிறது; ஒரு கட்டுக்கும் ஓர் அறுவை சிகிச்சைக்கும் அதுவே முழு நோக்கம். அளவுக்கு அதிகமான அசைவு, அல்லது மோசமான ரத்த ஓட்டம் — இவையே ஒரு முறிவு மெதுவாக ஓட்டுவதற்கு மிகப் பொதுவான காரணம்.
- **புகைபிடிக்காமல் இருப்பது.** புகைபிடித்தலும் நிகோட்டினும் ரத்தக் குழாய்களைச் சுருக்கி, எலும்பு ஆறுவதைக் கணிசமாக மெதுவாக்குகின்றன. காயம் அல்லது அறுவை சிகிச்சையின் காலகட்டத்தில் நிறுத்துவது கூட உதவுகிறது.
- **ஊட்டச்சத்து.** எலும்பு புரத்தாலும் தாதுவாலும் கட்டப்படுகிறது; எனவே போதுமான புரதம், **கால்சியம்**, **வைட்டமின் D** ஆகியவை ஆறுவதற்கு உதவுகின்றன. பெரும்பாலானவர்களுக்கு மிக அதிக அளவு மருந்துகள் தேவையில்லை; பற்றாக்குறை இல்லாமல் இருப்பதே அவர்களுக்குத் தேவை.
- **அளவான பயன்பாடு.** எலும்பு பயன்பாட்டுக்கு ஏற்பச் செயல்படுகிறது. உங்களுக்குத் தரப்படும் எடை தாங்குதல் மற்றும் பயிற்சி ஆலோசனையை — மிக அதிகமாகவும் இல்லாமல், மிகக் குறைவாகவும் இல்லாமல் — பின்பற்றுவது, ஆறிவரும் எலும்பைச் சரியான இடங்களில் மீண்டும் கட்டிக்கொள்ள வழிநடத்துகிறது.
- **காலமும் மறுபரிசீலனையும்.** பெரும்பாலான முறிவுகள் தமக்கே உரிய கால அளவில் ஆறுகின்றன. முன்னேற வேண்டிய ஒன்று முன்னேறவில்லை என்றால், அதை மறுபரிசீலனை செய்வது அவசியம்; சிலவற்றுக்கு அறுவை சிகிச்சையின் உதவிக்காரம் தேவைப்படுகிறது.

ஆழமான விளக்கம்

மேலே சொல்லப்பட்ட அனைத்துக்கும் பின்னால் உள்ள உயிரியலை, இந்தப் பகுதி மாணவர் நிலையிலான இன்னும் விரிவான விளக்கமாக எடுத்துச் செல்கிறது. ஒரு முறிவையோ அதன் சிகிச்சையையோ புரிந்துகொள்ள இது தேவையில்லை; ஆனால் எலும்பு உண்மையில் எப்படி வேலை செய்கிறது என்பதிலும், ஒரு முறிவை ஆற்றும் அதே இயந்திரமே எலும்புக்கூட்டுக்கு எதிராக எப்படித் திருப்பப்படுகிறது என்பதிலும் உங்களுக்கு ஆர்வம் இருந்தால், தொடர்ந்து படியுங்கள்.

உயிருள்ள திசுவாக எலும்பு

எலும்பு மூன்று முக்கியச் செல் வகைகளால் கட்டப்பட்டுப் பராமரிக்கப்படுகிறது; அவற்றைப் பெயர் சொல்லி அறிந்துகொள்வது உதவியாக இருக்கும் — ஏனெனில் இதற்குப் பிறகு வரும் கிட்டத்தட்ட எல்லாமே அவற்றுக்கிடையிலான சமநிலையைப் பற்றிய கதைதான்:

• ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்கள் (osteoblasts)

கட்டுபவை. அவை புதிய எலும்பை அமைக்கின்றன: முதலில் மென்மையான கொலாஜன் சட்டகத்தை (ஆஸ்டியாய்டு — osteoid), பிறகு அதில் தாதுவைப் படியவைத்துக் கடினமான எலும்பாக்குகின்றன.

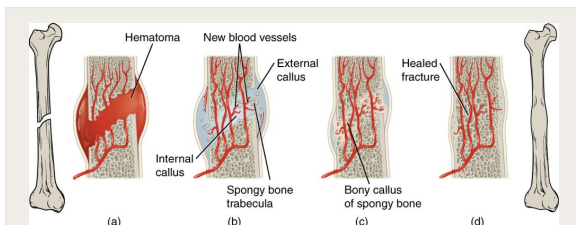
• ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்கள் (osteoclasts) இடிப்புப்

படை. இவை பல உட்கருக்களைக் கொண்ட பெரிய செல்கள்; அமிலத்தால் தாதுவைக் கரைத்தும், நொதிகளால் கொலாஜனைச் செரித்தும் எலும்பைக் கரைக்கின்றன.

• ஆஸ்டியோசைட்டுகள் (osteocytes) என்பவை, தாம் கட்டிய எலும்புக்குள்ளேயே சிக்கிக்கொண்ட முன்னாள் ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்கள். ஒரு பரந்த கால்வாய் வலையமைப்பால் இணைக்கப்பட்ட நுண்ணிய அறைகளுக்குள் அவை அமர்ந்திருக்கின்றன; எலும்பு முழுவதும் ஒரு உணரி வலையமைப்புப் போலப் பின்னிப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. பின்னால் பார்க்கப்போவது போல, இயந்திரவியல் சுமையை உணரும் செல்களும், மற்ற இரண்டு வகைகளை வழிநடத்தும் செல்களும் இவையே.

இந்தச் செல்கள் வாழும் கடினமான அடிப்படைப் பொருள், **ஹைட்ராக்சியாபடைட்** (hydroxyapatite — ஒரு கால்சியம்-பாஸ்பேட் தாது) படிக்கங்களால் விறைப்பூட்டப்பட்ட **வகை I கொலாஜன்** (type I collagen). எலும்பு இரண்டு கட்டமைப்புகளில் வருகிறது: நீள எலும்புகளின் தண்டுப் பகுதியில் உள்ள அடர்த்தியான **புறணி** (cortical, திண்ம) எலும்பு; எலும்புகளின் முனைகளிலும் முதுகெலும்புக்குள்ளும் உள்ள கடற்பஞ்சு போன்ற **சல்லடை** (trabecular, cancellous) எலும்பு — ஒரு திறந்த வலைச் சட்டகம்.

ஆறுதல் நிகழ்வுத் தொடர்



ஆறுதல் நிகழ்வுத் தொடர் — ஒரு முறிவு ரத்தக்கட்டி உருவாகிறது, ஒரு மென் (குருத்தெலும்பு) கல்லஸால் பாலம் அமைக்கப்படுகிறது, கடினமான எலும்புக் கல்லஸால் மாற்றப்படுகிறது, இறுதியில்

மேலே எளிய மொழியில் சொல்லப்பட்ட நான்கு கட்டங்களும் ஒரு துல்லியமான உயிரியல் வரிசையுடன் பொருந்துகின்றன. முறிவின் **ரத்தக்கட்டி** (haematoma) அழற்சிச் சமிக்ஞைகளையும் வளர்ச்சிக் காரணிகளையும் பெருமளவில் வெளியிடுகிறது; அவை மூலச் செல்களை வரவழைக்கின்றன. அந்தச் செல்கள் முதலில் ஒரு **மென் (குருத்தெலும்பு) கல்லஸை** உருவாக்குகின்றன:

உட்குருத்தெலும்பு எலும்பாக்கம் (endochondral ossification) என்னும் செயல்முறையில், ஒரு குருத்தெலும்புச் சட்டத்தின் மீது எலும்பு

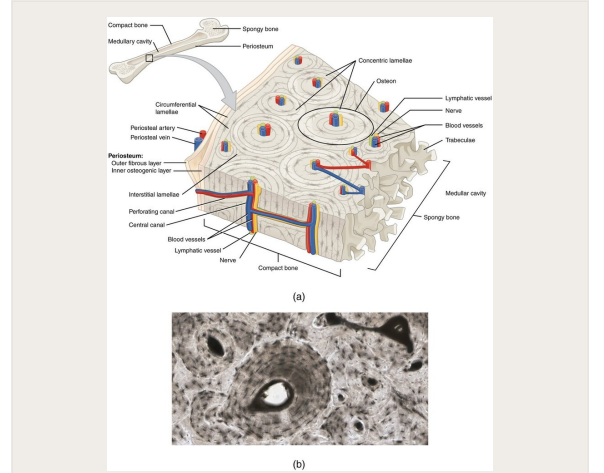
கட்டப்படுகிறது — குழந்தைப் பருவத்தில் எலும்புக்கூட்டின் பெரும்பகுதி வளர்வதும் இதே செயல்முறையால்தான். பிறகு அந்தக் குருத்தெலும்புக்குள் ரத்தக் குழாய்கள் ஊடுருவி, அது நெய்யப்பட்ட எலும்பால் — **கடின கல்லஸால்** — மாற்றப்படுகிறது; இறுதியில் அது முதிர்ந்த, ஒழுங்கமைந்த அடுக்கு எலும்பாக (lamellar bone) **மறுவடிவமைக்கப்படுகிறது**.

இதுவே **இரண்டாம் நிலை (மறைமுக) ஆறுதல்** — அதாவது ஒரு கல்லஸ் வழியாக ஆறுவது; ஒரு கட்டுக்குள் இருப்பது போல முறிவில் சிறிதளவு அசைவு இருக்கும்போது நடப்பது இதுவே. **முதல் நிலை (நேரடி) ஆறுதலும்** உண்டு; எலும்பு முனைகள் எந்த இடைவெளியும் எந்த அசைவும் இல்லாமல் இறுக்கமாகப் பிடித்து வைக்கப்படும்போது மட்டுமே (எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு உலோகத் தகட்டின் கீழ் அழுத்தப்படும்போது) அது நிகழ்கிறது. அப்போது கல்லஸே இருக்காது: இணைப்பின் குறுக்கே எலும்பு நேரடியாக மறுவடிவம் பெறுகிறது. இவற்றில் எதுவும் மற்றதைவிட “சிறந்தது” அல்ல; வெவ்வேறு இயந்திரவியல் நிலைமைகளுக்கு எலும்பு தரும் இரு பதில்கள் இவை — அதனால்தான் அறுவை சிகிச்சை நிபுணர்கள் முறிவுக்கு ஏற்ற பொருத்துமுறையைத் தேர்ந்தெடுக்கிறார்கள்.

மறுவடிவமைப்பும் வெட்டுக் கூம்பும்

முறியாத எலும்புகூடத் தொடர்ந்து மீண்டும் கட்டப்பட்டுக்கொண்டே இருக்கிறது: ஒவ்வோர் ஆண்டும் உங்கள் எலும்புக்கூட்டில் தோராயமாகப் பத்தில் ஒரு பங்கை நீங்கள் மாற்றிக்கொள்கிறீர்கள். இந்த வாழ்நாள் முழுவதுமான புதுப்பித்தலே **மறுவடிவமைப்பு**; **அடிப்படைப் பல்செல் அலகுகள்** (Basic Multicellular Units, BMUs) எனப்படும் செல் குழுக்களால் இது நிறைவேற்றப்படுகிறது.

அடர்த்தியான புறணி எலும்பில், ஒரு BMU ஒரு நுண்ணிய சுரங்கம் தோண்டும் இயந்திரம் போல வேலை செய்வதைப் பார்க்கலாம். அதன் முன்னணி விளிம்பில், ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்களின் ஒரு கூட்டம் எலும்பைக் கரைத்துக்கொண்டே முன்னேறி, அதன் வழியாக நேராக ஒரு சுரங்கத்தைத் துளைக்கிறது: இந்தக் கரைக்கும் நுனியே **வெட்டுக் கூம்பு** (cutting cone). அதற்குப் பின்னாலேயே நெருக்கமாக வரும் **மூடும் கூம்பில்** (closing cone), ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்கள் புதிய சுரங்கத்தின் உட்சுவரை வரிசையாக மூடி, சுவர்களிலிருந்து உள்நோக்கி அதை மீண்டும் நிரப்புகின்றன; ஒரு ரத்தக் குழாயைச் சுமக்கும் மையக் கால்வாயைச் சுற்றிப் புதிய எலும்பின் ஒருமைய வளையங்களை அவை அடுக்குகின்றன. முடிக்கப்பட்ட அந்த உருளை — ஒரு மையக் கால்வாயைச் சுற்றியுள்ள எலும்பு வளையங்கள் — **ஆஸ்டியான்** (osteon);



திண்ம எலும்பு ஆஸ்டியான்களால் கட்டப்படுகிறது — ஒரு மைய ரத்தக்குழாய்க் கால்வாயைச் சுற்றி மடித்து வைக்கப்பட்ட எலும்பின் ஒருமைய வளையங்கள். ஒவ்வோர் ஆஸ்டியானும் ஒரு வெட்டுக் கூம்பின் முடிக்கப்பட்ட வேலை.

OpenStax, Anatomy & Physiology, CC BY 3.0

திண்ம எலும்பின் அடிப்படைக் கட்டமைப்பு அலகு அதுவே. எனவே மறுவடிவமைப்பு தற்செயலானது அல்ல: இடிப்பைத் தொடர்ந்து மறுகட்டுமானம் வரும் ஒரு ஒருங்கிணைந்த அணிவகுப்பு அது; பழைய எலும்புக்குள் புதிய, நன்கு சீரமைந்த எலும்பை நூல் கோர்ப்பது போலக் கோர்த்துச் செல்கிறது.

ஆரோக்கியமான எலும்புக்கு இரு செல் வகைகளும் ஒத்திசைவாக வேலை செய்ய வேண்டியது ஏன் என்பதற்கும் இதுவே காரணம். வெட்டுக் கூம்பை முன்நடத்தும் ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்கள்தான், கட்டுப்பாடு தவறும்போது கீழே விவரிக்கப்படும் எலும்பு இழப்பு நோய்களை உந்தித் தள்ளும் அதே செல்கள்.

இணைப்பு நிலைமாற்றி: RANK, RANKL மற்றும் OPG

கட்டுபவர் இடிப்புப் படையை எப்படிக் கட்டுப்படுத்துகிறார்? ஒரு மூலக்கூறு நிலைமாற்றி மூலம். அதைத் தெரிந்துகொள்வது பயனுள்ளது; ஏனெனில் சாதாரண மறுவடிவமைப்புக்கும் பல நோய்களுக்கும் (மற்றும் பல மருந்துகளுக்கும்) பின்னால் இருக்கும் நெம்புகோல் அதுவே.

ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட் வழிவந்த செல்கள் **RANKL** என்னும் ஒரு சமிக்ஞையைத் தம் மேற்பரப்பில் காட்டுகின்றன. ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட் முன்னோடிச் செல்களின் மேற்பரப்பில் உள்ள அதன் ஏற்பியான **RANK** உடன் RANKL பொருந்தும்போது, செயல்படும், எலும்பைக் கரைக்கும் ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்களாக முதிர்ச்சியடையுமாறு அது அவற்றுக்குச் சொல்கிறது. அதாவது, இடிப்புப் படையின் தொலைவிசைக் கட்டுப்பாட்டி் கட்டுபவர்களின் கையில் உள்ளது. தடையைப் போடுவதற்காக, அதே ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்கள் **OPG**

(ஆஸ்டியோப்ரோடெஜரின், osteoprotegerin) என்னும் ஒரு ஏமாற்று மூலக்கூறைச் சுரக்கின்றன; RANK-ஐ அடைவதற்கு முன்பே அது RANKL-ஐ உறிஞ்சி எடுத்துவிடுகிறது. எனவே **RANKL-க்கும் OPG-க்கும் இடையிலான விகிதமே** எலும்பு கரையும் வேகத்தை நிர்ணயிக்கிறது: அதிக RANKL சமநிலையை எலும்பு இழப்பை நோக்கித் தள்ளுகிறது, அதிக OPG எலும்புப் பாதுகாப்பை நோக்கித் தள்ளுகிறது.

எலும்பைப் பாதிக்கும் கிட்டத்தட்ட ஒவ்வொரு சமிக்ஞையும் (ஹார்மோன்கள், அழற்சி, மருந்துகள்) இறுதியில் இந்த நெம்புகோலையே இழுக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, எலும்புத் துளைப்பு நோய்க்கான (osteoporosis) மருந்தான **டெனோசுமாப்** (denosumab) செயல்படுவது சரியாக இங்கேதான்: OPG போலச் செயல்படும் ஒரு செயற்கை எதிர்ப்பொருள் அது; RANKL-ஐ உறிஞ்சி ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்களை அணைத்துவிடுகிறது. இந்த நிலைமாற்றியை மனதில் வைத்திருங்கள்; அடுத்த இரண்டு பகுதிகளும் RANKL தவறான திசையில் தள்ளப்படுவதைப் பற்றிய கதைகளே.

இயந்திரவியல் சமிக்ஞை மாற்றமும் வொல்ஃப்பின் விதியும்

தன் மீது வைக்கப்படும் சுமைகளுக்கு ஏற்ப எலும்பு தன்னை மாற்றிக்கொள்வது நன்கு அறியப்பட்டது. “**தேவைப்படும் இடத்தில் எலும்பு போடப்படுகிறது, தேவையில்லாத இடத்தில் கரைக்கப்படுகிறது**” என்பதே **வொல்ஃப்பின் விதி** (Wolff’s law). ஒரு டென்னிஸ் வீரரின் மட்டைப் பிடிக்கும் கையில் எலும்பு ஏன் அடர்த்தியாக இருக்கிறது, விண்வெளி வீரர்களும் படுக்கையில் கிடப்பவர்களும் ஏன் எலும்பை இழக்கிறார்கள், அளவான

பயன்பாடு ஒரு முறிவைச் சரியான இடங்களில் மீண்டும் கட்டிக்கொள்ள ஏன் உதவுகிறது — இவை அனைத்துக்கும் காரணம் அதுவே.

சுமையை உணரும் செல்கள், எலும்புக்குள் புதைந்திருக்கும் **ஆஸ்டியோசைட்டுகள்**. எலும்பின் மீது சுமை ஏற்றப்படும்போது, அவற்றைச் சுற்றியுள்ள நுண்ணிய கால்வாய்கள் வழியாகத் திரவம் அழுத்தித் தள்ளப்படுகிறது; அந்த ஓட்டத்தை ஆஸ்டியோசைட்டுகள் உணர்கின்றன. இந்தச் செயல்முறைக்கு **இயந்திரவியல் சமிக்ஞை மாற்றம்** (mechanotransduction) என்று பெயர் — அதாவது ஓர் இயந்திரவியல் சமிக்ஞையை உயிரியல் சமிக்ஞையாக மாற்றுவது. சுமை ஏற்றப்பட்ட ஆஸ்டியோசைட்டுகள் **ஸ்க்ளெரோஸ்டின்** (sclerostin) என்னும் ஒரு தடைப் பொருளைக் குறைக்கின்றன; அது ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்களைக் கட்டுவதற்காகத் தளர்த்திவிடுகிறது. சுமை ஏற்றப்படாத எலும்பு இதற்கு நேர் மாறாகச் செய்து, கரைப்புக்கு விட்டுக்கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே “பயன்படுத்து, இல்லையேல் இழந்துவிடுவாய்” என்பது வெறும் கோஷம் அல்ல; நீங்கள் என்ன செய்கிறீர்கள் என்பதற்கு ஏற்ப ஆஸ்டியோசைட்டுகள் RANKL/OPG சமநிலையைச் சரிசெய்வதுதான் அது.

மறுவடிவமைப்பு தவறும்போது: எலும்புக் கரைப்பும் சோனிக் ஹெட்ஜ்ஹாக்கும்

எலும்புக் கரைப்பு (osteolysis) என்பது எலும்பு கரைந்து மறைவதைக் குறிக்கும் எளிய சொல்: ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்கள் கட்டுப்பாடின்றிச் செயல்படுவது — பொதுவாக ஏதோ ஒன்று RANKL நிலைமாற்றியை “இயக்கம்” நிலையிலேயே சிக்க வைத்திருப்பதால். ஒரு கட்டி எலும்பைக் குடைந்து தின்பதும், ஓர் உள்பொருத்து தளர்ச்சியடைவதும் (அடுத்த பகுதி), சில அழற்சி நோய்களில் எலும்பு உள்ளீடற்றுப் போவதும் இதனால்தான்.

இங்கே வியப்பூட்டும் கட்டுப்பாட்டாளர்களில் ஒன்று **சோனிக் ஹெட்ஜ்ஹாக்** (sonic hedgehog, Shh); கருவின் உடல் அமைப்பைச் செதுக்குவதற்காகவே மிகவும் அறியப்பட்ட ஒரு சமிக்ஞை மூலக்கூறு அது (கைகால்களையும் விரல்களையும் வகுத்தமைக்க அது உதவுகிறது). அதே பாதை வளர்ந்தோரின் எலும்புக்கூட்டிலும் மீண்டும் பயன்படுத்தப்படுகிறது; அது இரு பக்கமும் வெட்டுகிறது. ஆறிவரும் ஒரு முறிவில் Shh சமிக்ஞை உண்மையில் உதவுகிறது; ஆஸ்டியோபிளாஸ்ட்களுக்கும் எலும்பு உருவாக்கத்திற்கும் அது துணைநிற்கிறது. ஆனால் எலும்புக் கரைப்பில் அது நேர்மாறாகச் செய்கிறது: தன் கீழ்நிலைத் தூதுவனான **Gli** வழியாகச் செயல்பட்டு, மேலும் அதிக RANKL-ஐ உற்பத்தி செய்யுமாறு துணை ஸ்ட்ரோமல் செல்களை Shh தூண்டுகிறது; அதிக RANKL என்றால் அதிக ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்கள், அதிக எலும்பு கரைப்பு. குறிப்பிடத்தக்க வகையில், Shh தானாகவே எலும்பைக் கரைப்பதில்லை; RANKL பாதையைப் பெருக்கிக் காட்டுவதன் மூலமே அது செயல்படுகிறது — புற்றுநோயுடன் தொடர்புடைய எலும்பு அழிவு போன்ற நிலைகளில் அது ஒரு தீவிரப்படுத்தும் காரணியாகத் தோன்றுவதற்கு இதுவே சரியான காரணம். இந்தப் பக்கம் முழுவதும் ஓடும் ஒரு கருத்துக்கு இது ஒரு நேர்த்தியான எடுத்துக்காட்டு: பெரும்பாலான எலும்பு நோய்கள் என்பவை, சாதாரண மறுவடிவமைப்பு இயந்திரமே (வெட்டுக் கூம்பு, RANKL நிலைமாற்றி) ஒரே திசையில் மிக அதிகமாகத் தள்ளப்பட்டதன் விளைவே.

பாலிஎத்திலீன் தேய்மானமும் உள்பொருத்து தளர்ச்சியும்

உயிரியல் மிகவும் நடைமுறைக்கு உரியதாக மாறுவது இங்கேதான்; ஏனெனில் மூட்டு மாற்றுகள் இறுதியில் எப்படித் தோல்வியடைகின்றன என்பதை இது விளக்குகிறது. ஓர் இடுப்பு அல்லது முழங்கால் மாற்றில் ஒரு வழுவுழுப்பான தாங்குப் பரப்பு இருக்கிறது; வழக்கமாக ஒரு கடினமான உருண்டை அல்லது உலோகப் பகுதி, ஒரு **பாலிஎத்திலீன்** (polyethylene — மருத்துவத் தர நெகிழி) உள்ளுறையின் மீது அசைகிறது. ஆண்டுக்கணக்கான பயன்பாட்டில், உராய்வு பாலிஎத்திலீனின் மிக மிக நுண்ணிய **தேய்மானத் துகள்களை** உதிர்க்கிறது; அவை கண்ணுக்குத் தெரியாத அளவு சிறியவை, பில்லியன் கணக்கில் உதிர்பவை.

இந்தத் துகள்களை உடல் ஊடுருவிகளாகவே கருதுகிறது. உள்பொருத்தைச் சுற்றியுள்ள தூய்மைப்படுத்தும் நோய் எதிர்ப்புச் செல்கள் (**மேக்ரோஃபேஜ்கள்**) அவற்றை விழுங்க முயல்கின்றன; ஆனால் நெகிழியைச் செரிக்க முடியாது, எனவே விரக்தியடைந்த மேக்ரோஃபேஜ்கள் அதற்குப் பதிலாக அழற்சிச் சமிக்ஞைகளைக் கொட்டுகின்றன. அந்தச் சமிக்ஞைகள் எதிர்பார்க்கும் வகையிலேயே RANKL-ஐ உயர்த்தி, உள்பொருத்தைச் சுற்றியுள்ள எலும்பைக் கரைக்கும் ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்களை வரவழைக்கின்றன. இந்தத் **துகள்-தூண்டிய (அல்லது தேய்மான) எலும்புக் கரைப்பு** எலும்பு நங்கூரத்தை அமைதியாகத் தின்றுவிடுகிறது; இறுதியில் உள்பொருத்து தளர்ச்சியடைகிறது. மூட்டு மாற்றுகள் தேய்ந்துபோய், திருத்த அறுவை சிகிச்சை தேவைப்படுவதற்கு இதுவே ஒரு முதன்மையான காரணம் — பெரும்பாலும் அறுவை சிகிச்சைக்குப் பத்து ஆண்டுகள் அல்லது அதற்கும் மேல் கழித்து. மேலே சொன்ன அனைத்தையும் போலவே இதுவும் அதே இறுதிப் பொதுப் பாதைதான்: ஒரு வெளிப்புறத் தூண்டுதல், RANKL வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு, ஆஸ்டியோகிளாஸ்ட்கள் எலும்பைக் கரைப்பதில் முடிகிறது. குறைவான, குறைந்த தொல்லை தரும் துகள்களை உதிர்க்கும் சிறந்த தாங்குப் பொருட்களுக்காக (எடுத்துக்காட்டாக, குறுக்குப் பிணைப்புச் செய்யப்பட்ட பாலிஎத்திலீன்) இவ்வளவு பொறியியல் முயற்சி செலவிடப்படுவதற்குக் காரணம் சரியாக இதைப் புரிந்துகொண்டதுதான்.

ஆறுவதற்கு எது உதவுகிறது, எது கெடுக்கிறது

இறுதியாக, நடைமுறைக் காரணிகள் — இப்போது அவற்றை விளக்கும் உயிரியலுடன்:

- ஆறுவதற்குத் தேவையான செல்களையும் ஆக்சிஜனையும் சமிக்ஞைகளையும் **ரத்த ஓட்டம்** கொண்டு சேர்க்கிறது; உரிக்கப்பட்ட அல்லது நசுங்கிய மென் திசு உறை, அல்லது ரத்த ஓட்டம் குறைவான ஒரு எலும்பில் ஏற்படும் முறிவு — இவை மெதுவாகவே ஆறுகின்றன. இதுவே மிகப் பெரிய ஒற்றைக் காரணி.
- கல்லஸ் முதிர்ச்சியடைய **உறுதிப்பாடு** வழிவகுக்கிறது; அளவுக்கு அதிகமான அசைவு, ஆரம்பகட்டத்தின் மென்மையான பாலத்தை மீண்டும் மீண்டும் உடைத்துக்கொண்டே இருக்கிறது; **ஓட்டாமை** (non-union — ஆறத் தவறிய ஒரு முறிவு) நிலைக்கு அதுவே ஒரு பொதுவான வழி.
- **புகைபிடித்தலும் நிகோட்டினும்** ரத்தக் குழாய்களைச் சுருக்கி, பழுதுபார்க்கும் செல்களைப் பாதிக்கின்றன: எலும்பு ஆறுவதற்கு நன்கு நிறுவப்பட்ட ஒரு தடை இது.

- **நீரிழிவு நோயும் சில மருந்துகளும்** (நீண்ட காலம் எடுக்கும் ஸ்டிராய்டுகள், மற்றும் புதிய முறிவு ஏற்பட்ட காலகட்டத்தில் எடுக்கும் சில அழற்சி எதிர்ப்பு மருந்துகள்) ஆறுவதை மெதுவாக்கக்கூடும்.
- **ஊட்டச்சத்து** (போதுமான புரதம், **கால்சியம், வைட்டமின் D**) மூலப்பொருட்களை வழங்குகிறது; தவிர்க்க வேண்டிய பிரச்சினை மிகுதி அல்ல, பற்றாக்குறையே.
- **வயது** செல்களின் இயந்திரத்தை மெதுவாக்குகிறது; ஆனாலும் வாழ்நாள் முழுவதும் ஆறுவதற்கான குறிப்பிடத்தக்க திறனை எலும்பு தக்கவைத்துக்கொள்கிறது.

இவற்றையும் பாருங்கள்

- **எலும்பு ஆரோக்கியமும் எலும்புத் துளைப்பு நோயும்** — எலும்புக்கூடு முழுவதிலும் மறுவடிவமைப்புச் சமநிலை எலும்பு இழப்பை நோக்கிச் சாயும்போது
- **புகைபிடித்தலும் தசை-எலும்பு மண்டல ஆறுதலும்** — இங்கே விவரிக்கப்பட்ட ஆறுதலைப் புகைபிடித்தல் ஏன் மெதுவாக்குகிறது
- **வைட்டமின் D-யும் தசை-எலும்பு மண்டல ஆரோக்கியமும்** — எலும்பைக் கட்டுவதன் தாதுப் பக்கம்